



HAL
open science

Étude ethnobotanique du cacao

Virginie Marnier

► **To cite this version:**

Virginie Marnier. Étude ethnobotanique du cacao. Sciences pharmaceutiques. 2021. dumas-03467458

HAL Id: dumas-03467458

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03467458v1>

Submitted on 6 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE

U.F.R. Santé

Faculté des Sciences Pharmaceutiques

THESE

Pour l'obtention du Diplôme d'État de Docteur en Pharmacie

Préparée au sein de l'Université de Caen Normandie

ETUDE ETHNOBOTANIQUE DU CACAO

Présentée par
Virginie MARNIER

Soutenue publiquement le 6 juillet 2021
devant le jury composé de

M David GARON	Professeur des Universités / Université de Caen	Président du jury
Mr Jean-Philippe RIOULT	Maître de conférences / Université de Caen	Directeur de thèse
Mr Denis MADELAINE	Pharmacien titulaire / Vimoutiers (61120)	Examineur

Thèse dirigée par Jean-Philippe RIOULT

LISTE DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS

Directeur de la Faculté des Sciences Pharmaceutiques
Professeur Michel BOULOUARD

Assesseurs

Professeur Pascale SCHUMANN-BARD
Professeur Anne-Sophie VOISIN-CHIRET

Directrice administrative
Madame Sarah CHEMTOB

Directrice administrative adjointe
Madame Emmanuelle BOURDON

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

BOULOUARD Michel	Physiologie, Pharmacologie
BUREAU Ronan	Biophysique, Chémoinformatique
COLLOT Valérie	Pharmacognosie
DALLEMAGNE Patrick	Chimie médicinale
DAUPHIN François	Physiologie, Pharmacologie
DELEPEE Raphaël	Chimie analytique
FABIS Frédéric	Chimie organique
FRERET Thomas	Physiologie, Pharmacologie
GARON David	Botanique, Mycologie, Biotechnologies
GIARD Jean-Christophe	Bactériologie, Virologie
MALZERT-FREON Aurélie	Pharmacie galénique
ROCHAIIS Christophe	Chimie organique
SCHUMANN-BARD Pascale	Physiologie, Pharmacologie
SICHEL François	Toxicologie
SOPKOVA Jana	Biophysique, Drug design
VOISIN-CHIRET Anne-Sophie	Chimie médicinale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

ANDRE Véronique – HDR	Biochimie, Toxicologie
BOUET Valentine – HDR	Physiologie, Pharmacologie
CAILLY Thomas – HDR	Chimie bio-inorganique, Chimie organique
DENOYELLE Christophe – HDR	Biologie cellulaire et moléculaire, Biochimie, Cancérologie
DHALLUIN Anne	Bactériologie, Virologie, Immunologie
ELDIN de PECOULAS Philippe – HDR	Parasitologie, Mycologie médicale
GROO Anne-Claire	Pharmacie galénique
KIEFFER Charline	Chimie médicinale

KRIEGER Sophie (Praticien hospitalier) – HDR	Biologie clinique
LAPORTE-WOJCIK Catherine	Chimie bio-inorganique
LEBAILLY Pierre – HDR	Santé publique
LECHEVREL Mathilde – HDR.....	Toxicologie
LEGER Marianne	Physiologie, Pharmacologie
LEPAILLEUR Alban – HDR	Modélisation moléculaire
N'DIAYE Monique	Parasitologie, Mycologie médicale, Biochimie clinique
PAIZANIS Eleni	Physiologie, Pharmacologie
POTTIER Ivannah	Chimie et toxicologie analytiques
PREVOST Virginie – HDR	Chimie analytique, Nutrition, Education thérapeutique du patient
QUINTIN Jérôme	Pharmacognosie
RIOULT Jean-Philippe	Botanique, Mycologie, Biotechnologies
SAINT-LORANT Guillaume (Praticien hospitalier)	Pharmacie clinique
SINCE Marc	Chimie analytique
VILLEDIEU Marie – HDR.....	Biologie et thérapies innovantes des cancers

PROFESSEUR AGREGE (PRAG)

PRICOT Sophie..... Anglais

PERSONNEL ASSOCIE A TEMPS PARTIEL (PAST)

SEDILLO Patrick..... Pharmacie officinale

RICHARD Estelle..... Pharmacie officinale

Enseignants titulaires du Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie

Remerciements

À mon président de jury, monsieur Garon. Merci tout d'abord pour votre bienveillance tout au long de nos études, et merci de me faire l'honneur d'accorder un peu de votre temps pour lire et juger mon travail.

À mon directeur de thèse monsieur Rioult. Merci pour le partage de vos connaissances, pour vos conseils avisés et pour le temps que vous avez consacré pour m'aider à corriger et améliorer ma thèse.

À mon troisième membre de jury, Denis. Merci pour ces années de collaboration au sein des laboratoires de travaux pratiques, merci pour ton amitié et merci d'accepter aujourd'hui de participer à l'aboutissement de mes études.

À mes parents qui depuis ma naissance m'ont chérie et m'ont soutenue. Vous m'avez toujours poussée à donner le meilleur de moi-même. Si j'en suis ici aujourd'hui, c'est surtout grâce à vous. Merci pour tout.

À ma sœur, Ophélie. Tu es arrivée dans ma vie quand j'avais 3 ans et demi, et j'étais déjà tellement fière de toi. Mon enfance n'aurait jamais été si belle sans toi. Tu es toujours là, dans les bons comme les mauvais moments. Merci de ton soutien.

À Aurélien, mon homme. Je n'aurai pas assez de mots, mais je vais essayer tout de même... Pour l'amour que tu me donnes chaque jour, la patience dont tu fais preuve au quotidien, le soutien indéfectible que tu m'apportes. Pour les rires et les larmes, mais surtout les rires... Merci.

À Sindy et Alexis, ma cousine et mon meilleur ami. Nous formons un magnifique trio. Tous ces souvenirs que nous partageons sont magiques, et j'espère bien que nous continuerons à en fabriquer de nouveaux. Merci de votre amour et de votre amitié.

À Louis et Muriel. Votre présence dans ma vie me semble si naturelle, et je ne peux envisager me passer de vous. Vous êtes pour moi comme ma famille. Merci d'être là.

À Claudine, une belle mère en or. Tu es pour moi comme une deuxième maman. Surtout ne change pas, garde cette gentillesse en toi. Merci mille fois de m'avoir adoptée.

À tous mes amis. Même si je ne peux pas tous vous citer ici, merci pour tous les bons moments.

À toutes les personnes que je n'ai pas citées ici, mais qui ont croisé mon chemin et enrichi ma vie, merci.

À ma fille Lily... Si tu es la dernière sur cette liste, c'est uniquement parce que tu es la dernière à être entrée dans ma vie. Mais tu es la première dans mon cœur. J'espère que tu seras fière de moi comme je le suis de toi. Tu as mon amour éternel.

Liste des figures et tableaux.....	1
Introduction	3
I. Le cacaoyer, généralités	4
1. La dénomination	4
2. Classification.....	5
a) Classification Phylogénétique.....	5
b) Classification de Cronquist (1981).....	5
3. Description anatomique.....	6
a) Le système racinaire.....	6
b) Le tronc	7
c) Les feuilles	8
d) Les fleurs	9
e) Les fruits.....	12
f) Les graines.....	14
4. Les différentes variétés	14
a) Le <i>Criollo</i>	15
b) Le <i>Forastero</i>	15
c) Le Trinitario.....	16
d) Tableau comparatif.....	16
e) Classification de Motamayor	18
5. Chronologie du développement.....	19
6. Biotope du cacaoyer.....	20
7. Le génome de <i>Theobroma cacao</i> L.....	22
II. Le cacao et l'homme :	24
1. Histoire	24
a) Période précolombienne.....	26
b) L'arrivée des conquistadores	31
c) La diffusion en Europe	33

2.	Le cacao et la Pharmacie.....	37
3.	Les ustensiles du cacao.....	40
4.	Quelques chiffres.....	43
	a) Pays producteurs.....	43
	b) Pays transformateurs et consommateurs.....	44
	c) En France.....	44
5.	Questions éthiques.....	45
	a) Le travail des enfants.....	45
	b) La déforestation.....	46
6.	Culture.....	47
	a) Culture.....	47
	b) Maladies et ravageurs.....	53
	c) Contrôle des pesticides.....	73
III.	Transformation du cacao par l'homme.....	74
1.	Chez le producteur.....	74
	a) Écabossage.....	74
	b) Fermentation.....	75
	c) Séchage.....	80
	d) Le stockage.....	83
2.	Contrôle qualité.....	84
	a) Le taux d'humidité.....	84
	b) Le test à la coupe.....	85
	c) Examen organoleptique.....	85
	d) Qualité de la matière grasse.....	85
3.	Chez le chocolatier.....	86
	a) La torréfaction.....	86
	b) Concassage, décortilage et dégermage.....	89
	c) Broyage et concassage.....	90

d) Le cacao en poudre et le beurre de cacao	90
IV. Composition chimique et effets physiologiques du cacao	92
1. Composition chimique	92
a) Composition de la graine fraîche.....	92
b) Modifications entraînées par la fermentation	94
c) Modifications entraînées par le séchage.....	95
d) Modifications entraînées par la torréfaction	95
e) Composition du beurre de cacao.....	96
2. Les substances nutritives.....	96
a) Les macronutriments	96
b) Les micronutriments	99
3. Substances actives.....	105
a) Les polyphénols.....	105
b) Les méthylxanthines	107
4. Substances indésirables.....	110
a) Bioaccumulation	110
b) Présence de mycotoxines	111
Conclusion	113
Bibliographie	115

Liste des figures et tableaux

Figure 1 : Carl Von Linné – Système des plantes	4
Figure 2 : Cacaoyer entier	6
Figure 3 : Système racinaire du cacaoyer	7
Figure 4 : Dessin du tronc du cacaoyer	8
Figure 5 : Zoom sur le pétiole	9
Figure 6 : Photographie d'une feuille entière de cacaoyer	9
Figure 7 : Coussinet floral	10
Figure 8 : Photo d'une fleur de cacaoyer	10
Figure 9 : Schéma d'une fleur de cacaoyer	10
Figure 10 : Diagramme floral de <i>Theobroma cacao</i>	11
Figure 11 : Différentes formes de cabosses	12
Figure 12 : Cabosses de différentes variétés de cacaoyers	13
Figure 13 : Cabosse de Criollo	17
Figure 14 : Cabosse de Forastero	17
Figure 15 : Cabosse de Trinitario	17
Figure 16 : Graines de Criollo	17
Figure 17 : Graines de Forastero	17
Figure 18 : Graines de Trinitario	17
Figure 19 : Chronologie du développement du cacaoyer	19
Figure 20 : Chromosomes du cacaoyer	23
Figure 21 : Reproduction d'une poterie datant de -1900 trouvée sur le site de Soconusco dans la région de Chiapas	25
Figure 22 : Reproduction d'une poterie datant de -1750 trouvée sur le site de Veracruz à Mexico	25
Figure 23 : Reproduction d'une poterie datant de -1150 trouvée sur le site de Puerto Escondido au Honduras	25
Figure 24 : Reproduction d'une poterie datant de -650 trouvée sur le site de Colha au Belize	25
Figure 25 : Cacaoyer représenté dans le Codex de Tudela	28
Figure 26 : Statut représentant la tête de serpent à plume – Site de Teotihuacan au Mexique	30
Figure 27 : Quetzalcoatl	30
Figure 28 : Rencontre entre Hernán Cortès et Moctezuma II	32
Figure 29 : Tablette de 6 barres de chocolat Menier®	38
Figure 30 : Préparation du chocolat par des Aztèques	40
Figure 31 : Récipient haut servant à la préparation du chocolat	40
Figure 32 : Collection de Mollinilos de différentes formes	41
Figure 33 : Collection de chocolatières	41
Figure 34 : Presse de Van Houten	42
Figure 35 : Ombrière	47

<i>Figure 36 : Semis de cacaoyer dans des sacs en jute</i>	49
<i>Figure 37 : Récolte des cabosses à Sao Tomé</i>	52
<i>Figure 38 : Cochenille <i>Planococcus citri</i></i>	53
<i>Figure 39 : Gonflement des tiges du cacaoyer dû au SSV</i>	54
<i>Figure 40 : Apparition de bandes rouges sur les feuilles</i>	54
<i>Figure 41 : Chlorose des feuilles</i>	54
<i>Figure 42 : Coupe de cabosse atteinte de la pourriture brune</i>	57
<i>Figure 43 : Cabosse atteinte par la pourriture brune</i>	57
<i>Figure 44 : Branche de cacaoyer atteint par la maladie du balai de sorcière</i>	59
<i>Figure 45 : Cabosse atteinte de moniliose recouverte par le mycélium</i>	61
<i>Figure 46 : Coupe de cabosse atteinte de moniliose</i>	61
<i>Figure 47 : <i>Sahlbergella singularis</i></i>	66
<i>Figure 48 : <i>Distantiella theobroma</i></i>	66
<i>Figure 49 : Nymphe de foreur de cabosse protégée par un membrane de soie</i>	69
<i>Figure 50 : Cabosse saine ouverte</i>	74
<i>Figure 51 : fèves encore entourées du mucilage</i>	74
<i>Figure 52 : Fermentation des fèves de cacao en tas</i>	76
<i>Figure 53 : Fermentation du cacao en boîtes</i>	77
<i>Figure 54 : Séchage des fèves au soleil</i>	81
<i>Figure 55 : Stockage des fèves dans des sacs de jute</i>	83
<i>Figure 56 : Schéma simplifié de la réaction de Maillard</i>	88
<i>Figure 57 : Diagramme de la composition de la graine fraîche</i>	93
<i>Figure 58 : Structure chimique de la catéchine</i>	105
<i>Figure 59 : Structure chimique des trois méthylxanthines présentes dans le cacao</i>	107
<i>Figure 60 : Structure chimique de l'Ochratoxine A</i>	112
<i>Tableau 1 : Tableau comparatif des différentes variétés de cacao</i>	17
<i>Tableau 2 : Système de mesure maya</i>	26
<i>Tableau 3 : Concentrations maximales de résidus de pesticides autorisées</i>	73
<i>Tableau 4 : Concentration en macronutriments dans les différents types de chocolats</i>	96
<i>Tableau 5 : Concentration en sels minéraux du chocolat noir et chocolat au lait et Référence Nutritionnelle pour la Population</i>	99
<i>Tableau 6 : Concentration en vitamines du chocolat noir et chocolat au lait et Apports Satisfaisants journaliers</i>	102

Introduction

Le chocolat... Qui n'a jamais goûté à cette gourmandise, sucrée et fondante ? Qui n'apprécie pas le doux réconfort de la dégustation de ce met fabuleux ? J. K. Rowling elle-même, dans l'univers fantastique d'Harry Potter, l'a choisi comme remède pour se remettre des attaques de Détraqueurs, créatures causant chez leurs victimes un désespoir intense. Le chocolat réchauffe les cœurs et renforce le corps.

D'aussi loin que je me souviens, j'ai toujours adoré le chocolat. Sous toutes ses formes : en poudre mélangé à du lait, en tablettes, en bonbons, dans les gâteaux... Par conséquent, j'en ai toujours été une grande consommatrice.

Après avoir longtemps cherché un sujet pour ma thèse, qui validerait mon diplôme de docteur en pharmacie, ce sujet est venu à mon esprit. Dès lors, impossible de me le sortir de la tête. En y réfléchissant, je me suis dit que tout le monde connaissait le chocolat. Mais qu'en est-il de la plante à laquelle on le doit ?

Ma thèse présente donc une étude ethnobotanique du cacao. Cette dernière est divisée en quatre parties. Dans un premier temps, nous verrons les généralités concernant le cacaoyer, notamment sa description botanique. Puis, nous étudierons le rapport entre cette plante et l'homme, son histoire, sa culture, mais aussi les questions éthiques qu'il peut poser. Nous verrons ensuite quelles transformations l'homme y apporte, afin qu'il devienne le si connu chocolat. Enfin, nous étudierons les effets du cacao sur l'organisme.

Pour la réalisation de cet ouvrage, j'ai effectué des recherches bibliographiques classiques. Je me suis également rendue au musée du Chocolat de Bruxelles afin d'enrichir et documenter ma thèse. Cette visite m'a permis de prendre des clichés afin d'illustrer mes propos.

I. Le cacaoyer, généralités

1. La dénomination

En France, on le connaît de nos jours sous le nom de cacaoyer ou encore cacaotier. Son premier nom fut *Amygdala pecunariae*, ce qui signifie littéralement : « amande monnaie ». C'est lorsque Carl von Linné [Fig. 1] réalise sa première description botanique en 1753 qu'il lui attribue le nom latin de *Theobroma cacao* L., *Theobroma* voulant dire « nourriture des dieux ». Le terme *cacao* quant à lui est dérivé du mot nahuatl « *Cacahuatl* », qui désigne les fèves du cacaoyer, lui-même issu du terme maya « *Cacau* ». (1)

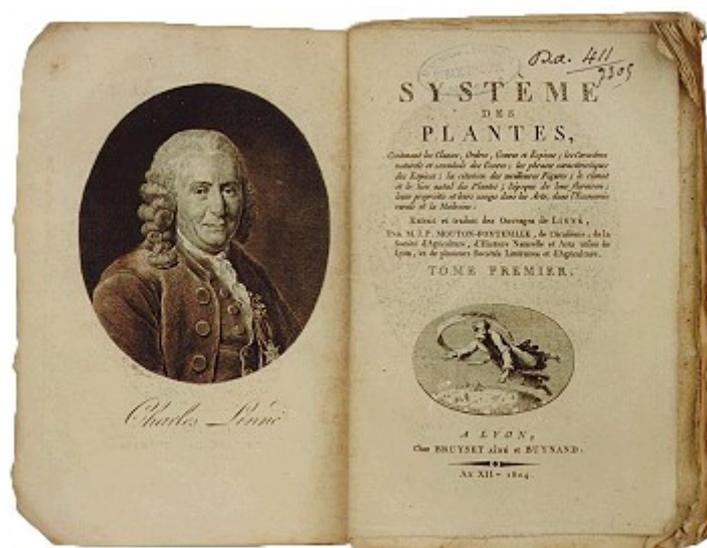


Figure 1 : Carl Von Linné – Système des plantes
museum.agropoplis.fr

2. Classification

a) Classification Phylogénétique

La dernière révision de la classification phylogénétique des angiospermes date de 2016, c'est la classification APG IV et elle nous permet de classer le cacaoyer de la manière suivante :

- **Règne** : *Plantae* (Plantes : organismes photosynthétiques et autotrophes, appartiennent aux Eucaryotes)
 - **Sous-règne** : *Viridaeplantae* (ou Chlorobiontes) définissant l'ensemble des organismes reconnus comme « végétaux verts »
 - **Classe** : *Equisetopsida*, regroupant toutes les plantes terrestres
 - **Clade** : Rosidées (appartenant au clade des eudicotylédones), il est lui-même divisé en 2 clades : les Fabidées et les Malvidées.
 - **Ordre** : Malvales, comprenant 10 familles
 - **Famille** : Malvacées, elle comprend plus de 200 genres
 - Genre : *Theobroma*, genre représenté par 22 espèces (2,3)

b) Classification de Cronquist (1981)

Arthur CRONQUIST est un botaniste nord-américain. Sa classification est une classification classique des angiospermes, basée essentiellement sur des critères morphologiques, anatomiques et chimique des plantes à fleurs.

Dans cette classification, la famille des Malvacées est subdivisée en cinq familles : les Bombacées, les Eleocarpacees, les Malvacées, les Tiliacées et enfin les Sterculiacées. C'est de cette dernière dont fait partie le cacaoyer. Cette famille correspond aux arbres, arbustes, lianes ou plantes herbacées des régions subtropicales et comprend 65 genres et environ 1000 espèces. (4)

3. Description anatomique

Le cacaoyer est un arbuste tropical [Fig. 2] pouvant atteindre 10 à 15m de hauteur à l'état naturel contre 4 à 6m lorsqu'il est cultivé. En effet, pendant sa culture, il sera taillé afin d'en faciliter l'entretien et de pouvoir atteindre plus facilement les cabosses au moment de la récolte. (5,6)



Figure 2 : Cacaoyer entier
afriquematin.net

a) Le système racinaire

Le système racinaire du cacao est constitué d'une racine pivotante principale, pouvant mesurer de 0,8 à 2m de long (selon les conditions plus ou moins favorables à son développement). C'est cette racine, appelée pivot, qui permet l'ancrage du cacaoyer dans le sol.

Au niveau de la base (partie supérieure, la plus proche de la surface) de cette racine principale se développeront plusieurs racines latérales [Fig.3]. Ces dernières sont plus nombreuses lorsque le cacaoyer est jeune. Elles se répartissent dans la couche superficielle du sol, jusqu'à une profondeur de 15 à 20cm et se propagent jusqu'à un rayon de 5 à 6m. Ce sont elles qui permettent la nutrition de l'arbre. Elles sont recouvertes de poils absorbants. (6,7)

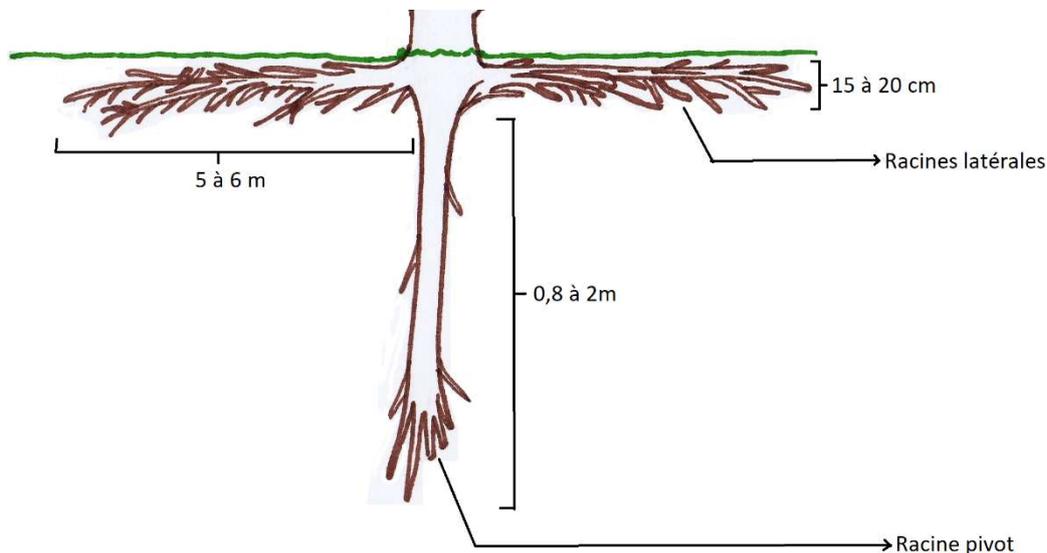


Figure 3 : Système racinaire du cacaoyer
MARNIER V. – 2019

b) Le tronc

Le tronc se ramifie à partir de 1m à 1m50 de hauteur en trois à cinq branches principales, plagiotropes, qui forment ce que l'on appelle la « couronne » [Fig. 4]. L'association du tronc et de ces branches constitue la structure primaire. A l'état naturel (non taillé), on peut observer plusieurs structures primaires, qui s'empilent les unes sur les autres, sur un même arbre.

On peut également observer à l'état sauvage des gourmands (ou rameaux orthotropes ou encore « rejetons ») qui vont se développer sous la structure primaire [Fig.4]. On les différencie des branches principales par la nature de leur croissance et par la disposition de leurs feuilles. En effet, sur les gourmands, la croissance se fait essentiellement à la verticale et les feuilles sont disposées en spirale. En revanche, sur les branches principales la croissance se fait latéralement, et les feuilles sont alternes. Les bourgeons issus d'un gourmand donnent naissance à de nouveaux gourmands, ce qui donne aux cacaoyers sauvages un aspect de massif touffu. (5,6)

Dans les plantations, on procède au retrait systématique de tous les gourmands et on ne laisse qu'une branche au-dessus de la structure principale, le reste est taillé.

L'écorce du cacaoyer est mince, brun cannelle, avec des reflets argentés. Son bois est poreux et léger, de couleur claire légèrement rosé. On peut utiliser ce dernier comme combustible. (8)

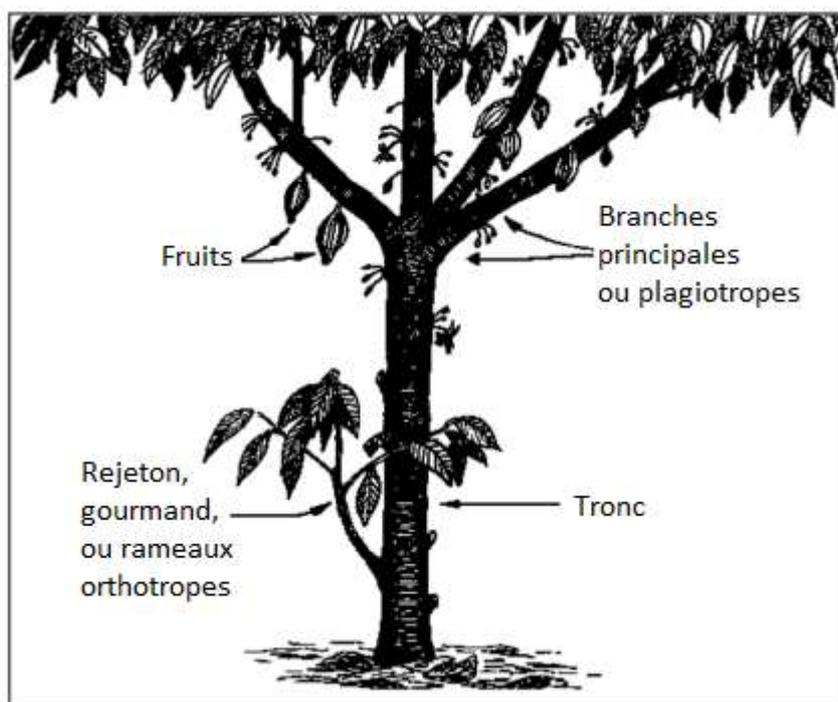


Figure 4 : Dessin du tronc du cacaoyer
uq.edu.au

c) Les feuilles

Les feuilles du cacaoyer sont persistantes, leur disposition au niveau des tiges est alterne, c'est à dire qu'elles s'insèrent alternativement de part et d'autre de la tige.

Lorsqu'elles sont jeunes, elles sont molles et pendantes puis deviennent rigides en murissant.

Le pétiole a une longueur variable, selon qu'il s'agisse d'une feuille de branche plagiotrope ou de gourmand. Sur les premières il aura une longueur de 2 à 3cm, pour les deuxièmes, de 7 à 9cm. Il est renflé à sa base et recouvert de poils simples, assez denses et diffus [Fig. 5].

Le limbe est simple, entier, elliptique, glabre, mesurant en moyenne 15 à 20cm de long pour 8 à 10cm de large (les extrêmes variant de 12 à 60cm de longueur pour 4 à 20cm de largeur, selon les variétés et le niveau d'exposition à la lumière). La nervation est pennée [Fig. 6]. (5–7)



Figure 5 : Zoom sur le pétiole
PICKERING T. & WYATT G. –
2006



Figure 6 : Photographie d'une feuille
entière de cacaoyer
PICKERING T. & WYATT G. – 2006

d) Les fleurs

La floraison commence à la fin de la troisième ou quatrième année de vie du cacaoyer. C'est un arbre cauliflore, c'est à dire que ses fleurs poussent à même le tronc et les branches plagiotropes. Elles poussent en bouquet formant des « coussinets floraux » [Fig. 7].

Elles sont petites (0,5 à 1cm de diamètre), portées par un pédicelle grêle de 1 à 3cm de long, sans odeur, de couleur blanc-rose. Ce sont des fleurs pentamères, elles possèdent 5 sépales et 5 pétales. Les sépales sont valvaires, joints à la base, de couleur vert clair, parfois teinté de rose clair, alternés avec les 5 pétales [Fig. 8]. (5–7)

L'anatomie des pétales est caractéristique. En effet, ils sont étroits à leur base, puis s'élargissent pour devenir concaves et former un petit capuchon blanc, en forme de cuillère, bordé intérieurement par deux veines violettes. La partie supérieure de ce capuchon est prolongée par une petite structure allongée se dirigeant vers l'extérieur, dont l'extrémité s'élargit pour former une ligule lancéolée, dont la couleur varie du blanc au jaune vif selon la variété.



Figure 7 : Cousinnet floral
museum.toulouse.fr



Figure 8 : Photo d'une fleur de cacaoyer
futura-sciences.com

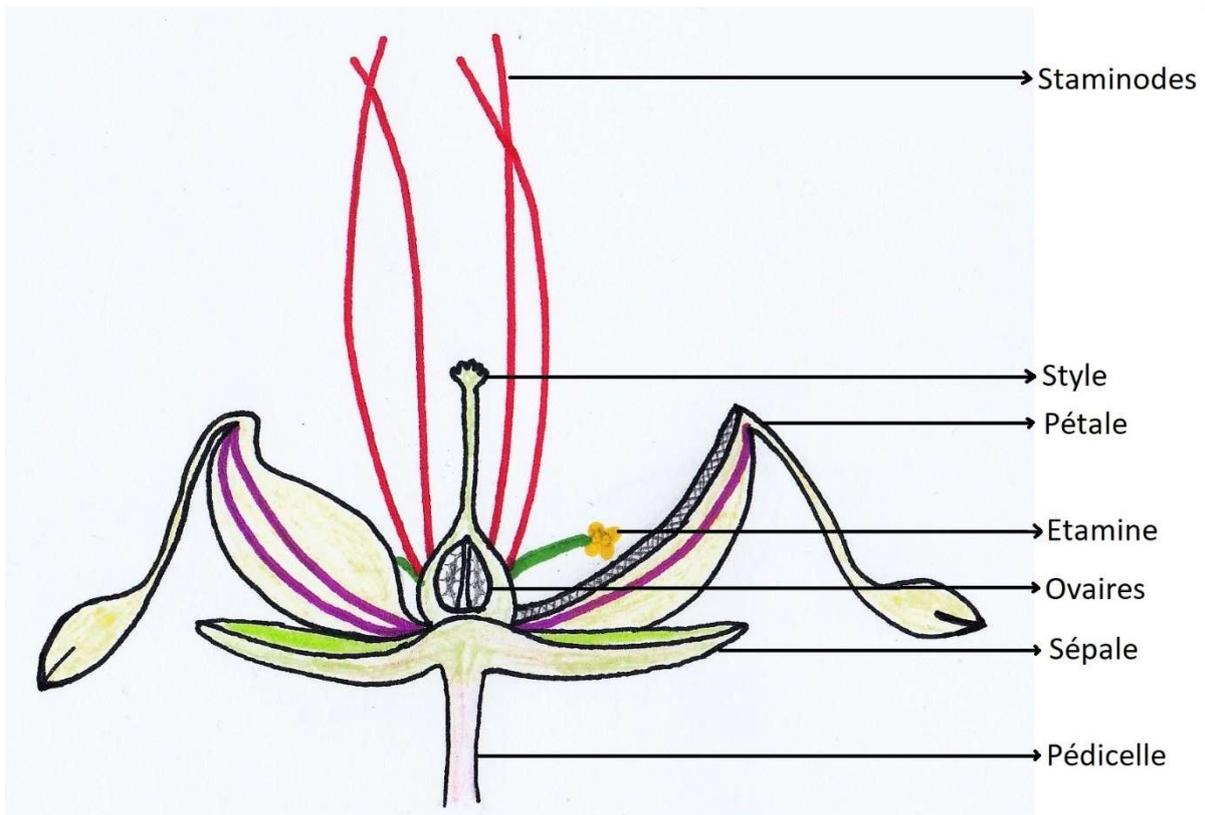


Figure 9 : Schéma d'une fleur de cacaoyer
 MARNIER V. - 2019

Concernant l'appareil reproducteur, les fleurs de cacaoyers sont hermaphrodites, elles portent donc l'appareil reproducteur mâle et femelle.

L'androcée est composé de 10 étamines, dont 5 stériles appelées staminodes. Ces dernières sont réduites à des languettes linéaires, velues, de couleur noire-pourpre, dépassant de l'ovaire. Les 5 étamines fertiles sont verdâtres, plus courtes, opposées aux sépales (alors que les staminodes sont alternés), et recouvertes en partie par les pétales. Chacune de ces étamines forme un filet, qui porte 4 loges disposées en croix (2 loges supérieures et 2 loges inférieures) déhiscentes, chacune en dehors *via* deux fentes longitudinales. Deux loges composent une anthère (partie terminale de l'étamine qui renferme le pollen) [Fig. 9]. (4,7)

L'ovaire est supère (il est situé au-dessus du plan d'insertion des pièces florales). Il est composé de 5 loges, opposées aux pétales, et surmonté d'un style à 5 stigmates [Fig. 10]. Dans chaque loge, on a de nombreux ovules anatropes, transversaux, disposés sur deux séries verticales. Ce sont ces ovules qui constitueront les graines de cacao, qui seront transformées en fèves.



Figure 10 : Diagramme floral de *Theobroma cacao*
Université de Montpellier

Bien que les fleurs soient très nombreuses, très peu d'entre elles donneront des fruits. En effet, seulement 0,5 à 1 % de fleurs se transformeront en cabosse. Cela est dû à leur très petite taille, qui ne permet qu'à peu d'insectes de s'y introduire et donc de polliniser. Ainsi, chaque année, un arbre produit en moyenne 40 à 50 fruits. (5)

e) Les fruits

Le fruit commence à se développer 3 jours après la pollinisation. Il passe alors par une première phase, la chérelle, qui est finalement une forme plus petite de la cabosse, forme définitive atteinte à la maturité du fruit au bout de 5 à 7 mois de développement. La phase de chérelle dure en moyenne 90 jours.

Les fruits du cacaoyer sont attachés aux branches plagiotropes ou au tronc par une tige ligneuse, qui correspond au pédicelle de la fleur qui s'est épaissi avec le développement de la cabosse.

La taille et la forme vont varier en fonction de la variété. Pour la taille, une cabosse peut mesurer entre 10 et 35cm de long pour 6 à 20cm de large. C'est le rapport entre la longueur et la largeur qui va déterminer la forme de la cabosse, qui peut aller d'une forme presque sphérique à une forme beaucoup plus allongée. La forme des deux extrémités est elle aussi variable, ces dernières pouvant être plus ou moins pointues [Fig. 11]. On peut également observer chez certaines variétés un goulot d'étranglement au niveau de l'extrémité reliée à la tige. (5-7)



Figure 11 : Différentes formes de cabosses
chocodic.fr

Les cabosses sont parcourues de 5 à 10 sillons longitudinaux et leur surface peut être lisse ou verruqueuse, toujours selon la variété observée.

Le poids d'une cabosse est en moyenne de 400 à 500g, les extrêmes allant de minimum 200g à maximum plus d'un kilogramme.

Le péricarpe, enveloppe du fruit, est résistant, et ne peut pas s'ouvrir sans intervention extérieure (animale ou humaine). Il est composé de trois couches :

- L'épicarpe est charnu, épais, plus ou moins dur
- Le mésocarpe est mince et dur
- L'endocarpe est charnu et d'épaisseur variable

De plus, les fruits du cacaoyer ne tombent pas et se dessèchent sur l'arbre, sans libérer leurs graines. Il y a donc absolument besoin d'une intervention extérieure afin d'assurer sa reproduction.

Concernant la couleur des cabosses, une fois de plus, elle varie en fonction de la variété de l'arbre, mais elle change également avec le temps, selon la maturité du fruit [Fig. 12]. Elles sont toutes de couleur verte, plus ou moins foncé, à l'état jeune, puis les cabosses des *Trinitarios* et des *Criollos* deviennent rouges, et les cabosses des *Forasteros* vertes deviennent jaunes. Ce changement de couleur permet de déterminer à quel moment réaliser la récolte.

Chaque cabosse contient une pulpe mucilagineuse qui entoure les graines, qui donneront les futures fèves. Ces dernières sont organisées en rangées longitudinales à l'intérieur de la cabosse. (6)



Figure 12 : Cabosses de différentes variétés de cacaoyers
calvacanti.cioccolati.com

f) Les graines

Les graines ont elles aussi différentes morphologies selon la variété. De manière générale, elles ont une forme d'amande plus ou moins arrondie. Elles mesurent de 20 à 30mm de long, 12 à 16mm de large et 7 à 12mm d'épaisseur. Elles sont toutes entourées par le mucilage blanc présent dans le fruit, et présentent un tégument mince et rigide qui constitue ce que l'on appelle la « coque ».

La graine du cacaoyer est une graine dite exalbuminée. En effet, l'albumen, qui est le tissu contenant les réserves nutritives, y est très réduit. Ici, ce sont les deux cotylédons qui occupent presque tout l'espace de la graine, les réserves y sont donc directement stockées. Ces derniers sont très épais, et repliés sur eux-mêmes, avec le germe.

Le nombre de graines par cabosse peut varier de 30 à 50 par fruit, dépendant de plusieurs facteurs. En effet, la quantité de graines va être influencée par le niveau de pollinisation et le nombre d'ovules présents au préalable dans la fleur. De plus, chez le cacaoyer, il faut qu'il y ait un nombre minimal de graine dans la chérelle pour que celle-ci se développe, c'est ce qu'on appelle le « point de flétrissement différentiel ». Ce dernier varie en fonction de la variété. (5-7)

4. Les différentes variétés

Il n'y a qu'une espèce de cacaoyer utilisée pour fabriquer le chocolat, *Theobroma cacao* L., mais il en existe plusieurs variétés.

Classiquement, on distingue 3 principales variétés de cacaoyers. Cette distinction se base sur l'origine géographique, la morphologie et la couleur des cabosses ainsi que des graines qu'elles contiennent, mais également sur leurs qualités aromatiques et gustatives. (5) Cette première classification est mise au point en 1944 par le botaniste Ernest Entwistle Cheesman. Les trois variétés mises en avant sont le *Criollo*, le *Forastero* et le *Trinitario*.

a) Le *Criollo*

C'est la plus rare des variétés de cacao, mais également la première à avoir été cultivée par l'homme. Son nom lui a été donné par les conquistadores espagnols, *Criollo* veut dire « créole », qui signifie « du pays » (1,5)

Cette variété est originaire des forêts tropicales d'Amérique du Sud, notamment au Venezuela et au Pérou, et d'Amérique centrale, notamment au Mexique. De nos jours, il est cultivé dans les pays possédant les mêmes conditions climatiques que ses origines, en Amérique centrale et en Amérique du Sud. On le retrouve donc au Venezuela, Mexique, Nicaragua, Guatemala, Colombie, Archipel de Samoa, Sri Lanka, Madagascar, Archipel des Comores et Java. (5,8)

D'un point de vue morphologique, les cabosses de *Criollo* sont verruqueuses, avec une forme allongée longiligne et pointue, comportant une dizaine de sillons profonds et nets. Le cortex est tendre et facile à découper. De couleur verte pour les formes jeunes, elles deviennent rouges violacées lorsqu'elles atteignent la maturité. Les graines sont dodues et rondes, de couleur blanche, parfois légèrement pigmentées, et présentent une amertume légère. Les cotylédons sont blancs à violet pâle. (5,8,9)

Cette variété ne fournit que 3 à 5 % de la production mondiale, car ce sont les cacaoyers les plus fragiles et avec le plus faible rendement. Mais c'est aussi celle qui a la saveur la plus fine et qui donne le chocolat de meilleure qualité. Effectivement, il présente de riches saveurs secondaires qui ont une longue durée en bouche. (8,9)

b) Le *Forastero*

Cette variété trouve son origine dans la haute Amazonie, notamment au Brésil. Son nom lui a aussi été donné par les conquistadores espagnols, *Forastero* signifiant « Étranger » (1,5)

C'est à l'heure actuelle la variété la plus répandue puisqu'elle représente 80 à 90 % de la production mondiale. En effet, le *Forastero* s'adapte mieux aux différentes conditions climatiques, il est plus résistant aux maladies et présente une meilleure rentabilité car son rendement est plus important. En revanche, sa saveur est plus amère et astringente et son goût en bouche a une durée moindre. C'est pourquoi il est souvent mélangé à des variétés de qualité supérieure lors de la confection du chocolat.

On retrouve comme pays producteurs le Brésil, le Ghana, le Nigeria, la Côte d'Ivoire, la Nouvelle Guinée, le Sri Lanka, la Malaisie et l'Indonésie (8,10).

Morphologiquement, les cabosses du *Forastero* ont une forme plus arrondie que les *Criollo*, elles sont lisses, parfois verruqueuses, allongées ou arrondies, avec des sillons moins prononcés. De couleur verte chez les formes jeunes, elles deviennent jaunes à maturité. Elles sont épaisses et plus difficiles à ouvrir. Les graines quant à elles sont plus ou moins aplaties, de couleur rouge et leurs cotylédons sont de couleur pourpre foncé. (5,8,10)

c) Le Trinitario

Cette dernière variété est en fait une hybridation des deux premières. Suite à une catastrophe naturelle sur l'île de Trinidad en 1727, les populations ont replanté des *Forastero*, plus résistants, pour remplacer les *Criollos* presque entièrement détruits par le cyclone. Il y a alors eu pollinisation croisée entre des deux variétés, donnant lieu à une hybridation spontanée. (5)

Son lieu de naissance est donc Trinidad. Aujourd'hui, il est cultivé en Afrique, en Amérique du Sud, en Amérique Centrale et en Asie, et représente environ 10 à 15 % de la production mondiale. (5,8)

Chez cette variété, on a une morphologie très polymorphe. Effectivement, le Trinitario représente un intermédiaire entre ses deux parents. De ce fait, on trouve des cabosses de toutes les formes et de toutes les couleurs, même chose pour les graines.

Il combine la résistance et le rendement élevé des *Forastero*, mais possède un goût plus raffiné et approchant de celui des *Criollos*. (8,9)

d) Tableau comparatif

Le tableau 1 [Tableau 1] présente la localisation géographique originelle, actuelle, l'aspect des cabosses et des graines ainsi que les propriétés gustatives de chaque variété de cacao.

Tableau 1 : Tableau comparatif des différentes variétés de cacao
MARNIER Virginie

	<i>Criollo</i>	<i>Forastero</i>	<i>Trinitario</i>
Origine	Venezuela et Pérou	Amazonie, Brésil	Hybridation naturelle de Criollo et Trinitario
Localisation	Amérique centrale Nord d'Amérique du Sud	Amérique centrale Amérique du Sud Afrique occidentale Asie	Caraïbes, Madagascar, Ceylan
Cabosses	 <p>Figure 13 : Cabosse de <i>Criollo</i> chocodic.com</p>	 <p>Figure 14 : Cabosse de <i>Forastero</i> Sunstream.africa</p>	 <p>Figure 15 : Cabosse de <i>Trinitario</i> chocodic.com</p>
Graines	 <p>Figure 16 : Graines de <i>Criollo</i> MARNIER Virginie – Musée du chocolat de Bruxelles</p>	 <p>Figure 17 : Graines de <i>Forastero</i> MARNIER Virginie – Musée du chocolat de Bruxelles</p>	 <p>Figure 18 : Graines de <i>Trinitario</i> MARNIER Virginie – Musée du Chocolat de Bruxelles</p>
Propriétés gustatives	Cacao fin, chaleureux et long en bouche	Amertume forte et de courte durée	Cacao corsé, et long en bouche

e) Classification de Motamayor

En 2008, une équipe dirigée par Juan Carlos Motamayor, ingénieur et chercheur de l'agroalimentaire spécialisé dans le cacao, donne une nouvelle classification basée sur des critères morpho-géographiques et génomiques des cacaoyers d'Amazonie. Il en ressort 10 groupes :

- *Amelonado*
- *Criollo*
- *Nacional*
- *Contamana*
- *Curaray*
- *Cacao guiana*
- *Iquitos*
- *Maranon*
- *Nanay*
- *Purus*

Les noms de ces nouvelles variétés sont donnés selon les origines géographiques ou le nom du cultivar qu'ils représentent. Cette classification n'est pas encore utilisée par les producteurs de cacao pour classer les variétés, et l'on parle encore principalement des *Criollo*, *Forastero* et *Trinitario*.(5,11)

5. Chronologie du développement

Comme nous le verrons dans les parties suivantes, le cacaoyer, avant d'être planté dans la cacaoyère, va vivre 6 à 8 mois en pépinière, jusqu'à ce qu'il soit suffisamment fort. Le cacaoyer grandit en plusieurs phases d'élongations, et mettra 18 mois à atteindre une hauteur de 1m à 1m50. Il continuera ensuite son développement, puis vers la 3ème année apparaîtront les premières fleurs. Ces dernières donneront par la suite des fruits qui atteignent leur maturité en 6 à 8 mois.

Au bout de 6 à 7 ans, le cacaoyer atteint son rendement maximal en matière de production de cabosses. Mais sa maturité complète n'est atteinte qu'à l'âge de 10 ans. Un cacaoyer peut rester productif jusqu'à ses 30 ans, âge au-delà duquel il ne produira plus de cabosses. A l'état sauvage, il peut vivre de 40 à 50 ans [Fig. 19]. Généralement, en culture, il sera arraché lorsqu'il ne sera plus assez rentable. (6)

Il est aussi intéressant de noter que le cacaoyer est un arbre à développement en cycle continu. Cela se traduit par la présence au même moment et sur un même coussinet floral des boutons floraux, des fleurs et des fruits à tous les stades de maturation. Ce mode de développement est probablement dû au fait que les saisons ne sont pas très marquées dans ses zones géographiques de prédilection, que nous allons détailler dans la partie suivante. (5,6)

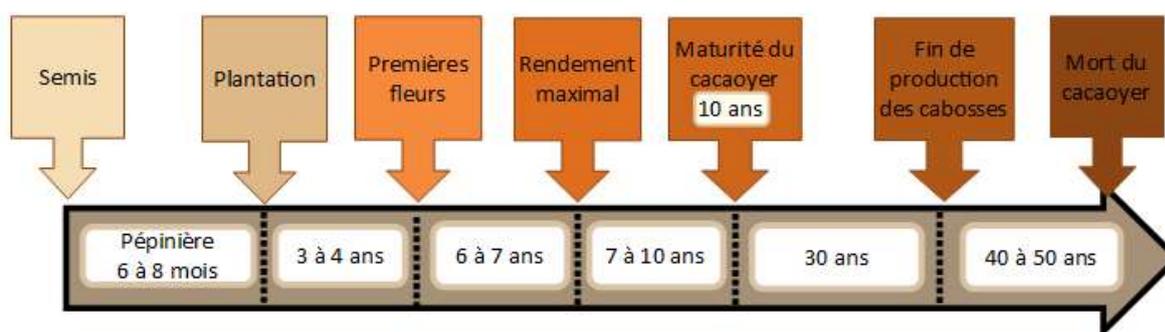


Figure 19 : Chronologie du développement du cacaoyer
MARNIER. V. - 2019

6. Biotope du cacaoyer

Le cacaoyer est un arbre fragile et exigeant, qui a besoin de conditions spécifiques pour bien se développer. C'est pourquoi on ne le trouve que dans certaines régions précises du monde. Son habitat naturel se trouve dans les étages inférieurs des forêts tropicales, protégé par l'abri que lui font les grands arbres à feuilles persistantes. (12)

Pour en assurer la culture, plusieurs caractéristiques doivent être respectées afin qu'il se développe bien et produise des fruits. Les conditions à surveiller sont les suivantes : la température, l'humidité et la pluviométrie, l'altitude, l'ombrage et la qualité nutritionnelle du sol.

Tout d'abord, c'est un arbre qui a besoin de chaleur. La température de son environnement doit être comprise entre 25 et 30°C. Les pays où il est cultivé ont des températures moyennes minimales entre 18 et 21°C et maximales entre 30 et 32°C. Il est important que la température ne descende jamais en dessous de 10°C, sinon le cacaoyer « gèle » ce qui stoppe sa croissance. (5,12)

Le taux d'humidité doit être de 70 à 85 %. Il faut une zone géographique où les précipitations sont abondantes, mais également bien réparties sur l'année. L'idéal est une pluviométrie annuelle entre 1500 et 2000mm. Le cacaoyer supporte mal la sécheresse, il faut donc que les périodes sèches n'excèdent pas trois mois. (On parle de période sèche pour une pluviométrie mensuelle inférieure à 100mm). Les précipitations sont un facteur influençant de manière importante le rendement des récoltes. (5,12)

Concernant l'altitude, elle découle des deux conditions citées précédemment. Elle sera comprise entre 400 et 600m. (8)

Le cacaoyer est un arbre qui a besoin d'ombrage, principalement pendant les trois premières années de sa vie. De fait, il n'a besoin que de 80 à 70 % du rayonnement solaire. Pour les jeunes plants, on peut observer l'utilisation d'arbustes à croissance rapide, comme les cocotiers, citronniers et surtout les bananiers. En effet, ces derniers ont l'avantage d'apporter au producteur une compensation financière en attendant la production de cabosses par ses cacaoyers. Par la suite, on observera plutôt des grands arbres, notamment l'arbre corail *Erythrina*, appelé « *Madre del*

cacao » par les populations locales (on observe aussi des arbres des genres *Albizzia* ou *Gliricidia*). De plus, ces grands arbres protègent également le cacaoyer du vent et des fortes pluies, ainsi que de certaines maladies. (5,8,12)

Enfin, la qualité du sol est elle aussi essentielle, que ce soit physiquement ou chimiquement. Il faut que la terre soit constituée de particules grossières, afin de laisser un espace suffisant aux racines. La matière doit être relativement perméable, afin que l'eau puisse s'écouler correctement. En effet, le cacaoyer peut supporter un certain engorgement mais uniquement sur de courtes périodes. De plus, la stagnation d'eau favorise la dissémination et le développement de certaines maladies du cacaoyer.

Concernant les propriétés chimiques du sol, il faut que ce dernier soit riche en nutriments, que l'on doit pouvoir retrouver jusqu'à environ 1,50 m de profondeur. Le pourcentage en matière organique doit être d'au moins 3,5 % dans les 15 premiers centimètres et les bases échangeables doivent représenter au moins 35 % de la capacité totale d'échange de cations. Enfin, le sol doit avoir un pH acide, généralement compris entre 5 et 7. Le cacaoyer peut supporter des sols plus acides, en revanche les sols alcalins lui causeront des problèmes de croissance au-delà d'un pH de 8. (12)

7. Le génome de *Theobroma cacao* L.

En 2010, le CIRAD annonce le décryptage du génome de cacaoyer, réalisé par un consortium international regroupant 6 pays (Brésil, Côte d'Ivoire, France, Trinidad, USA et Venezuela) sur un *Criollo* récolté dans les plantations du Belize. Cette variété a été choisie car c'est celle qui donne le chocolat le plus fin, et elle est probablement le descendant direct des premiers cacaoyers cultivés par l'homme. L'Acide DésoxyriboNucléique (ADN) extrait de ce *Criollo* a été cassé en plusieurs fragments qui ont été analysés séparément, puis regroupés par la suite pour reconstituer la séquence ADN. (13) En janvier 2017, une deuxième version sera donnée, où l'on atteint 99 % de séquençage des gènes. (14)

Le génome du cacaoyer compte 10 paires de chromosomes [Fig. 20], en revanche le nombre de gènes est différent selon la variété. Sur le *Criollo* dont le séquençage a été réalisé, on a découvert 28 798 gènes, dont 2053 semblent propres au cacaoyer (par comparaison avec plusieurs autres génomes de plantes dont le séquençage a déjà été réalisé). (15)

Les chercheurs se sont particulièrement intéressés aux gènes responsables de la synthèse de polyphénols, composants bénéfiques pour la santé humaine ainsi qu'aux constituants aromatiques responsables de la saveur du chocolat. Leur intérêt s'est également porté sur les gènes responsables de la résistance à certaines maladies fongiques, ces dernières étant responsables de la perte de 30 % en moyenne de la production mondiale de cacao. (15)

L'analyse du génome a permis de mettre en avant l'existence de 96 gènes responsables de la biosynthèse des polyphénols, dont une famille de gènes particulièrement représentée. Concernant la synthèse des composés aromatiques à l'origine des nombreuses saveurs du chocolat, les chercheurs ont observé plusieurs extensions de familles de gènes responsables de leur biosynthèse. On peut notamment relever la présence de 7 copies d'un même gène responsable de la synthèse du linalol.

Le dernier point d'intérêt des chercheurs s'est porté sur la résistance aux maladies fongiques, particulièrement sur 2 familles de gènes les plus importantes actuellement connues : NBS-LRR et LRR-RLK. Ils ont pu décompter respectivement 296 et 253 gènes du cacaoyer *Criollo* appartenant à ces deux classes. Ces découvertes

concernent les maladies du Balai de sorcière ou encore la pourriture brune des cabosses. (16)

On voit donc que ce séquençage doit permettre de faciliter la création de variétés plus productives, capables de produire un cacao de haute qualité mais également résistantes aux maladies. Le but à terme est de développer une cacaoculture durable, en réduisant l'utilisation de pesticides. (16)

Les travaux de séquençage sont publiés en ligne dans le *Cacao Genome Project*, qui est accessible à tout public. (17)

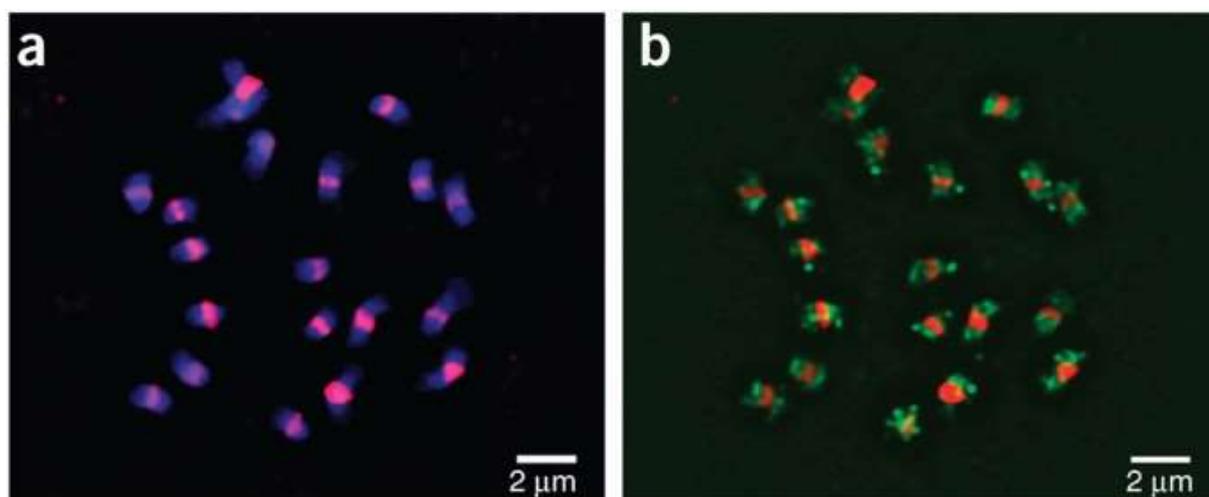


Figure 20 : Chromosomes du cacaoyer
The Genome of Theobroma Cacao – ARGOUTT et al.

II. Le cacao et l'homme :

1. Histoire

Le berceau géographique du cacaoyer se situe dans les forêts tropicales d'Amérique du Sud, dans la région du Haut-Orénoque et du bassin amazonien. Les premiers consommateurs de cacao furent vraisemblablement les animaux (singes, chauves-souris, perroquets), qui en appréciaient la pulpe à la saveur sucrée et acidulée, et recrachaient les graines trop amères, assurant ainsi sa reproduction et sa dispersion. C'est donc par mimétisme que l'homme se mit à en consommer. (1,5)

Concernant son utilisation et sa domestication par l'homme, on ne sait pas la dater de manière certaine. Mais on a pu retrouver dans plusieurs poteries anciennes venant de plusieurs zones géographiques des traces de produits cacaotés. Ces derniers ont été identifiés comme tels grâce à la théobromine, alcaloïde caractéristique du cacao [Fig. 21 à 24].

Les premières poteries ont été retrouvées au Guatemala, dans la région de Rio Azul, en 1990. D'autres furent trouvées sur des sites archéologiques situés au Belize, en 2002. Après analyse au carbone 14, ces poteries ont été estimées comme datant du VI^e siècle avant J-C au Ve siècle de notre ère. (5) Mais il semblerait que l'homme ait rencontré le cacao bien avant, déjà aux temps préhistoriques. Une autre découverte a été faite au Honduras à Puerto Escondido sur des récipients ayant été datés entre 1100 et 1400 avant J-C. D'autres fouilles archéologiques ont permis de trouver des traces de cacao dans des céramiques Mokaya de Paso de la Amada et dans des céramiques pré-olmèques d'El Manati, datées entre 1900 et 1750 av. J-C.

La plus ancienne trace de l'utilisation du cacao par l'homme a été découverte en 2018 sur le site archéologique de Santa Ana La Florida, sur une céramique vieille de 5300 ans. Cette découverte précède de 1500 ans la domestication du cacao par les Olmèques et les Mayas. Le cacao était consommé par les Mayo Chinchipe, qui constituent la plus ancienne civilisation amérindienne de l'Amazonie connue à ce jour. (5,18)

La première variété cultivée fut le Criollo, dont la culture a débuté il y a 2500 à 3000 ans par les Olmèques. Ils transmettront leurs connaissances sur la culture du cacao à leurs voisins, les Mayas. (4,5)



Figure 21 : Reproduction d'une poterie datant de -1900 trouvée sur le site de Soconusco dans la région de Chiapas
MARNIER Virginie – Musée du Chocolat de Bruxelles -2019



Figure 22 : Reproduction d'une poterie datant de -1750 trouvée sur le site de Veracruz à Mexico
MARNIER Virginie – Musée du Chocolat de Bruxelles -2019

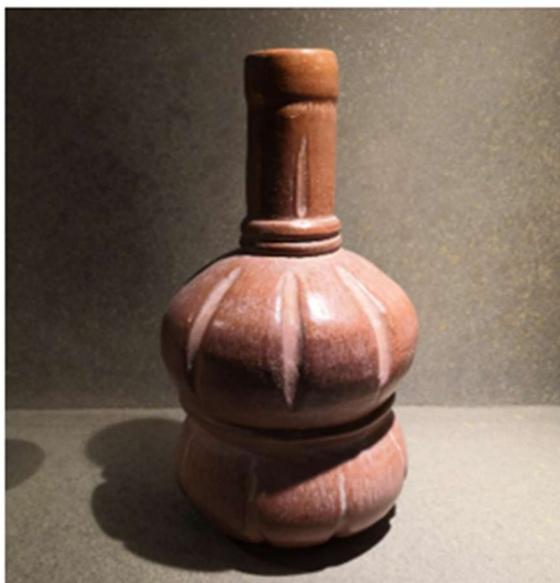


Figure 23 : Reproduction d'une poterie datant de -1150 trouvée sur le site de Puerto Escondido au Honduras
MARNIER Virginie – Musée du Chocolat de Bruxelles -2019



Figure 24 : Reproduction d'une poterie datant de -650 trouvée sur le site de Colha au Belize
MARNIER Virginie – Musée du Chocolat de Bruxelles -2019

a) Période précolombienne

i. Les mayas

La culture et l'utilisation du cacao furent transmises aux Mayas par leurs prédécesseurs les Olmèques. Mais l'intégration du cacaoyer ne fut pas si simple car (comme nous l'avons vu précédemment) c'est un arbre fragile et exigeant. Déjà à l'époque, on pouvait observer plusieurs variétés de cacaoyer et les mayas avaient choisi celles aux cabosses rouges et aux graines blanches, qui avaient un bien meilleur goût que les autres. La difficulté à faire pousser cet arbre faisait de ses fèves une denrée rare et par conséquent précieuse. En effet, pour les civilisations mayas, le cacaoyer était la propriété des Dieux. (4,19)

De ce fait, les fèves de cacao s'imposèrent d'elle-même comme unité comptable pour la civilisation maya [Tableau 2]. Leur système de mesure était organisé de la manière suivante :

Tableau 2 : Système de mesure maya
DUBUT O.

Unité	Valeur
1 zontli	400 fèves
1 canasta	1600 fèves
1 xiquipilli	8000 fèves
1 carga	24 000 fèves
1 tribu	64 000 fèves
1 tercio	72 000 fèves

Les mayas développèrent tout leur système arithmétique sur cette base, et ne mesurèrent jamais les choses par unité de poids. Les fèves étaient aussi tout naturellement utilisées comme monnaie courante pour le peuple maya. Ainsi, un lapin coûtait 10 fèves, un pot en terre 12 à 25 fèves, des boucles d'oreilles 30 fèves. (1)

Si leurs prédécesseurs, les Olmèques, ne semblaient consommer que la pulpe, les Mayas furent les premiers hommes à consommer les fèves. Bien qu'on ne sache pas comment ils en vinrent à élaborer le processus de transformation des fèves, on en connaît malgré tout le déroulement. Les Mayas les faisaient fermenter, puis griller,

avant de les broyer à chaud pour en faire une pâte. Cette pâte est ensuite mélangée dans de l'eau et d'autres ingrédients, comme de la farine de maïs et différents aromates et épices, afin d'en faire une boisson appelée « *Chacau haa* ».

La composition de cette boisson varie, selon l'utilisation qui en est faite. Par exemple, pour les cérémonies religieuses, on ajoutait des plantes ou des champignons hallucinogènes, afin de porter les prêtres en transe. On enrichit la boisson avec des composants énergétiques pour la donner aux guerriers qui doivent partir au combat. Durant certaines cérémonies, elle devient un breuvage rituel, désignant symboliquement le sang, par ajout de poudre de rocou à la mixture pour lui donner une couleur rouge. Cette boisson était utilisée dans plusieurs rituels et festivités, rapportées par Diego de Landa au cours du XIV^{ème} siècle. (1,5)

On retrouvait également le cacao dans les événements de la vie quotidienne. Par exemple, il était utilisé comme offrande suite à une naissance ou lors de la cérémonie du choix du prénom. Lors du rituel de puberté, le corps des jeunes garçons était recouvert d'un mélange d'eau de pluie, de fleurs et de poudre de cacao. On observait aussi un don de fèves de cacao lors des demandes en mariage ou encore lors de cérémonies données en l'honneur des défunts. On voit donc la part essentielle qu'avaient les fèves de cacao dans la vie des populations mayas.

La culture elle-même du cacaoyer donnait lieu à différents rituels. Diego Garcia de Palacios rapporte en 1576 que les Mayas choisissaient les meilleures fèves, les exposaient 4 nuits durant à la lumière de la lune. Durant cette période, les semeurs n'avaient pas le droit de voir leurs femmes et ce n'était que lors de la dernière nuit qu'ils pouvaient les retrouver. (1,19)

Le mucilage quant à lui était utilisé pour préparer une boisson fermentée ainsi qu'une sorte de vinaigre. On peut également noter que les Mayas réalisaient l'extraction d'une huile, utilisée pour ses vertus thérapeutiques hydratantes et cicatrisantes mais aussi comme combustible. (Cuicas, tribu du piémont du Nord des Andes).

Les Mayas reconnaissaient différentes vertus thérapeutiques au cacao, majoritairement au beurre de cacao. En effet, ils accordaient à ce dernier des propriétés cicatrisantes et de protection contre le soleil. Ils estimaient également que

le beurre de cacao constituait un bon remède pour les maux de foie ou de poumons. Quant à la boisson issue des fèves, elle était parée de vertus revigorantes et aphrodisiaques.

On retrouve plusieurs références illustrant la place occupée par le cacaoyer. On peut notamment citer « l'Arbre du Sud » qui figure dans le Codex Fejervary-Mayer, livre sacré du Chilam Balam de Chumayel. Il a été identifié comme tel en raison des fruits ovoïdes poussant à même son tronc [Fig. 25].

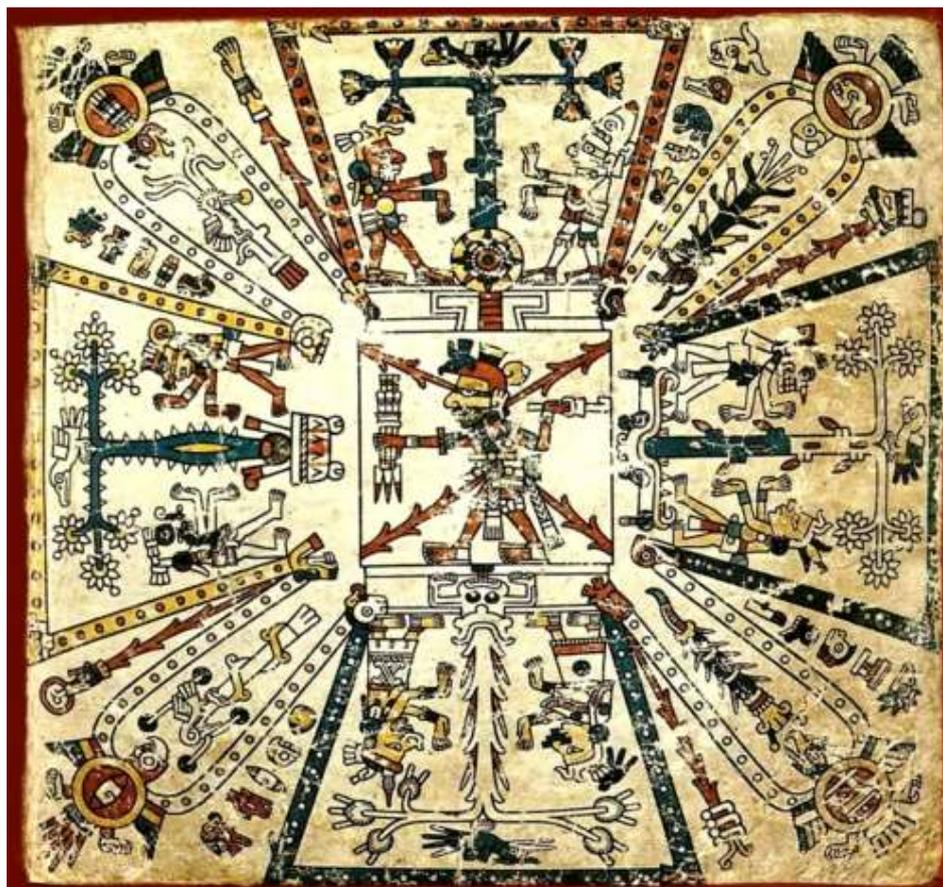


Figure 25 : Cacaoyer représenté dans le Codex de Tudela
francetvinfo.fr

On retrouve également des gravures représentant des cabosses de cacao dans les palais et temples de l'ère dite classique. Dans les codex de l'époque, dont il ne reste aujourd'hui plus que 4 exemplaires, on peut observer de multiples images de dieux représentés en train de pratiquer divers rituels au cours desquels sont utilisées des fèves de cacao. Le texte en lui-même fait aussi référence au cacao en tant que nourriture des dieux.

ii. La légende de Quetzalcoatl

« Dans l'antique cité Toltèque de Tollan régnait Quetzalcoatl, le dieu barbu au visage laid et à la longue tête. Il avait appris à ses vassaux l'art de travailler les pierres vertes que l'on nomme chalchihuites, de fondre l'argent et de faire toute chose. Il était tenu par eux pour un dieu. Et il avait des maisons faites de pierres précieuses, d'argent, de coquillages éclatants et de turquoises et d'autres qui étaient faites de plumes multicolores. Et, d'aussi loin que l'Anahuac, à plus de cent lieues alentour, tous venaient entendre ses commandements. Et l'on disait encore qu'il possédait toutes les richesses du monde en or et en argent et en pierres précieuses et aussi un grand nombre d'arbres de cacao de différentes couleurs que l'on nomme xochicacaoatl, et les vassaux dudit Quetzalcoatl étaient très riches et ne manquaient de rien. Sous son règne, le maïs poussait en abondance et les citrouilles étaient énormes...

Mais vint le temps où s'acheva la fortune de Quetzalcoatl et des Toltèques. Le magicien Tiltlacauan, sous forme d'un vieillard chenu, vint trouver Quetzalcoatl : « Seigneur, lui dit-il, je t'apporte un breuvage qui est bon et enivre celui qui en boit ; il t'attendrira le cœur et te guérira et te fera connaître la route de ton prochain voyage au pays de Tlapallan où tu retrouveras la jeunesse. » Et Quetzalcoatl but et s'enivra et perdit la tête. Il fit brûler toutes ses maisons d'argent et de coquillages et enterrer toutes les choses précieuses au fond des montagnes et dans les ravins des fleuves ; et il transforma les arbres de cacao en une autre espèce d'arbres appelés muzquitl ; et il envoya devant lui toutes les variétés d'oiseaux au riche plumage et prit lentement le chemin de Tlapallan [...] et s'en alla sur la mer en direction du soleil levant. » (1,8)

Ce récit fut recueilli par le missionnaire franciscain Bernardino de Sahagun en 1547. On observe la place de premier plan qu'occupe le cacaoyer dans le mythe du dieu-roi Quetzacoatl [Fig. 26 et 27] et donc la valeur symbolique qui lui est associée.

(1)



Figure 26 : Statut représentant la tête de serpent à plume – Site de Teotihuacan au Mexique
britannica.com



Figure 27 : Quetzalcoatl
Codex Borbonicus – Page 22
historycollection.com

iii. Les Aztèques

C'est au XIV^{ème} siècle que les Aztèques envahissent les régions mayas. Ils viennent de terres inadaptées à la culture du cacao, mais l'apprécient d'emblée. Ainsi, pour se fournir en fèves, ils en feront un tribut que les Mayas doivent leur verser. Ils conserveront donc le système monétaire à base de fèves de cacao, aussi bien pour les tributs dus à l'Empereur que pour les échanges commerciaux.

Chez les Aztèques, contrairement à leurs prédécesseurs mayas, la boisson fabriquée à partir de poudre de fèves de cacao est consommée chaude ou tiède, afin de faire ressortir le goût des épices qui entrent dans sa composition. Les gens du peuple utilisent de la bouillie de maïs pour épaissir la préparation. L'Empereur Moctezuma II, dirigeant des Aztèques, vouait une passion profonde au cacao. Il le buvait uniquement dans une tasse en or, qui ne servait qu'une seule fois et était ensuite jetée dans le lac bordant son palais, et duquel on retira un véritable trésor.
(20)

Les Aztèques appréciaient beaucoup le breuvage tiré des fèves de cacao car il était réputé pour combattre la fatigue et préserver des morsures de serpent. Tout comme leurs prédécesseurs mayas, ils utilisaient le beurre de cacao comme onguent pour soigner la peau, en cas de plaie ou de brûlure. Mais ils ne se contentaient pas,

en thérapeutique, d'utiliser la matière grasse extraite du cacao. Ils utilisaient aussi la fleur de cacaoyer pour soigner une série de maux, allant des blessures aux pieds jusqu'à l'apathie mentale ou la timidité. L'écorce quant à elle était utilisée pour combattre la diarrhée.

On retrouve aussi des utilisations du cacao dans des rites religieux, similaires à ce que l'on pouvait observer chez les Mayas. Ils utilisaient également la cabosse pour représenter le cœur humain, arraché au cours de sacrifices. (1)

b) L'arrivée des conquistadores

La première rencontre des Européens avec le cacao eut lieu en 1502, lors du 4^{ème} voyage de Christophe Colomb vers le Nouveau-Monde. Les indigènes présentèrent à ce dernier les fèves et la boisson qu'ils en tiraient, mais il ne s'y intéressera pas, probablement du fait de son amertume. Ce dernier rapporte dans ses carnets de bord « *Un grand bateau indigène de vingt-cinq rameurs vint à notre rencontre, de beaux objets en cuivre et des amandes qui leur servent de monnaie et avec lesquelles ils préparent une boisson* ». (1)

Il faudra attendre 17 ans, avec l'arrivée d'Hernán Cortès en 1519, pour que les conquistadores commencent à prêter attention aux fèves. En effet, Cortès remarqua rapidement l'intérêt qu'il pourrait trouver à ces fèves, qui semblent si précieuses aux yeux des indigènes. Il en fait mention dans sa 1^{ère} lettre à l'empereur Charles Quint en la décrivant comme « *un fruit comme des amandes, qui pour les indigènes a une si grande valeur qu'elles sont traitées comme monnaie dans toute leur terre et qu'ils achètent avec elles toutes choses nécessaires sur les marchés et ailleurs* ». (1)

L'empereur Aztèque Moctezuma II prit Hernán Cortès pour la réincarnation de Quetzalcóatl, le dieu-roi toltèque exilé dont le retour avait été prédit pour cette même année [Fig. 28]. Les Aztèques se prosterneront devant cet homme blanc et lui offrent bien sûr des fèves de cacao, leur plus précieux trésor. Cette confusion facilitera la tâche à Cortès et qui malheureusement entraînera cette civilisation à sa perte.

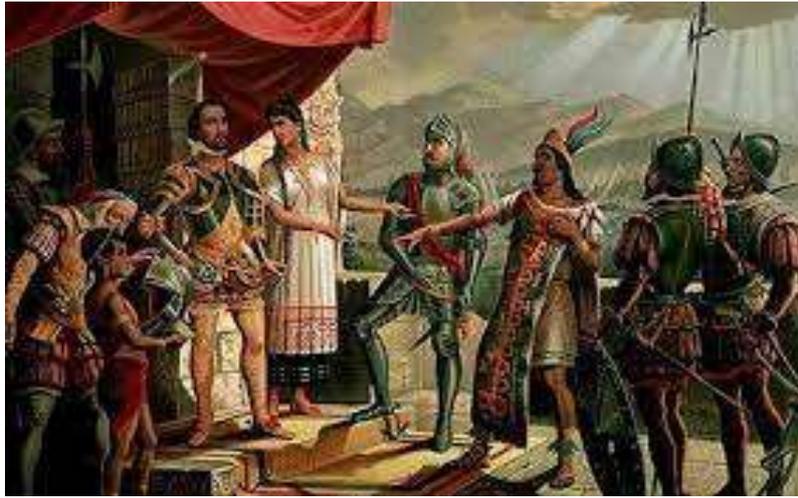


Figure 28 : Rencontre entre Hernán Cortés et Moctezuma II
monarchiesetdynastiesdumonde.com

Les Espagnols n'aimeront pas d'emblée la boisson consommée par les populations locales, qu'ils jugent trop amère. Avec le temps passé sur place et les boissons importées d'Europe venant à manquer, ils décidèrent malgré tout de boire cette mixture. Mais afin qu'elle soit à leur goût, ils y apportèrent quelques modifications, notamment en ajoutant du sucre de canne pour en diminuer l'amertume.

Pour finir, le cacao sera envoyé à la cour d'Espagne en 1528, au milieu de métaux précieux et de nombreux produits nouveaux pour les Européens, comme la tomate ou la pomme de terre. Sa consommation s'étendra ainsi à toute l'Espagne, puis progressivement au reste de l'Europe. Mais les Espagnols garderont pour eux la recette de la boisson. (1,5,20)

c) La diffusion en Europe

i. L'Espagne et les Pays-Bas

C'est au XVI^{ème} siècle, lorsque les colons se mirent à exploiter les richesses du Nouveau Monde, que le cacao fit son premier voyage vers les pays d'Europe. Il arriva d'abord en Espagne en 1524 lorsque Cortès expédie des fèves de cacao à l'empereur Charles Quint, qui adore la boisson fabriquée à partir de ce nouveau produit. Les premières introductions de fèves en Espagne se firent en petite quantité. La première vraie cargaison n'y arriva qu'en 1585, en provenance de Veracruz. Les Espagnols adoptèrent rapidement la boisson fabriquée à partir de ces amandes et le chocolat devint dès le début du XVII^{ème} siècle partie intégrante de leur quotidien, surtout dans la haute société. On voit apparaître des *chocolaterias* dans la plupart des grandes villes du pays et il est à la mode de s'y rendre l'après-midi pour y boire une tasse du breuvage mousseux, auquel on attribue toutes les vertus. En effet, on dit qu'il soulage le foie, aide à la digestion, calme les fièvres, fortifie le cœur et qu'il est même aphrodisiaque. Bien qu'il soit majoritairement utilisé comme boisson, le cacao était parfois retrouvé dans la composition de certaines sauces, pour accompagner les viandes.

Les Pays-Bas, autre terre gouvernée par Charles Quint, furent le deuxième pays à profiter de cette découverte. Dès le XVII^{ème} siècle, ils deviennent la plaque tournant du commerce des épices et des produits exotiques, dont le cacao. Bien que la Compagnie Hollandaise des Indes orientales installa ses propres fabriques de chocolat aux Pays-Bas, sa production y restait limitée et était un privilège de la cours car il fut longtemps soumis à de lourdes taxes. (1,5,19,20)

ii. L'Italie

Le cacao arrive ensuite en Italie, mais plusieurs versions existent à ce sujet. Selon certains historiens, ce serait vers la moitié du XVI^{ème} siècle qu'Emmanuel Philibert, exilé, revint au pouvoir en 1553 après avoir goûté aux plaisirs du chocolat en Espagne. Selon la croyance populaire, ce serai un marchand florentin, Antonio Carletti, qui l'aurait rapporté en 1606 au retour d'un voyage dans les Indes et qui l'aurait introduit à la cour de Ferdinand I^{er} d'Autriche. La dernière hypothèse avance que le chocolat a été introduit comme médicament par les couvents et les monastères. Longtemps, les Italiens n'utilisèrent le cacao que sous forme de breuvage, que les *cioccolatieri* avaient l'art de le préparer. (5,19,20)

iii. La France

Concernant la France, la réelle introduction du chocolat se fit clandestinement, par des chocolatiers juifs qui furent chassés d'Espagne, puis du Portugal et qui vinrent se réfugier en France à Bayonne. Bien qu'ils arrivent dès 1609, on ne retrouve des traces officielles de ces chocolatiers qu'à partir de 1687. N'ayant pas l'autorisation d'ouvrir des boutiques, ils préparaient le chocolat directement chez les particuliers.

Son introduction officielle en France se fit en 1615 par Anne d'Autriche, infante d'Espagne, épouse de Louis XIII, qui arrive à la cour accompagnée de sa suite au sein de laquelle se trouvent ses servantes qui savent bien évidemment préparer le chocolat. En effet, la jeune reine ne veut pas laisser en Espagne la boisson de son enfance. Mais à cette époque, la consommation de chocolat reste restreinte à la cour au petit cercle espagnol de la reine et à ses quelques amies françaises. Le conseiller du roi, le cardinal Mazarin, était lui aussi un grand amateur de chocolat, qu'il faisait préparer par un cuisinier recruté à Turin. Il accorda en 1658 au Toulousain David Challiou « le privilège exclusif de la fabrication et de la vente du chocolat dans tout le royaume durant une période de vingt-neuf ans ». En effet, à cette époque l'utilisation et la vente de chocolat nécessite une autorisation royale.

Ce breuvage venu du Nouveau-Monde connaîtra une popularité croissante avec l'arrivée de l'infante Marie-Thérèse d'Autriche, épouse de Louis XIV, en 1660. Cette dernière était connue pour n'avoir que deux passions, le chocolat et le roi. Mais le roi, lui, n'éprouve pas le même amour que la reine pour cette boisson « *qui trompe la faim mais ne remplit pas l'estomac* ».

Parmi les amateurs de chocolat de la bonne société française, on peut citer Madame de Sévigné, qui fut une amatrice capricieuse de chocolat. On a en effet retrouvé dans ses correspondances avec sa fille de nombreuses allusions à la boisson. La première référence au cacao a été retrouvée dans une lettre datant du 11 février 1671, où elle écrit à sa fille « *Vous ne vous sentez pas bien, vous n'avez point dormi : le chocolat vous remettra.* ». Trois mois plus tard, en avril 1671, son avis a bien changé lorsqu'elle mentionne à nouveau la boisson « *Je veux vous dire, ma chère enfant, que le chocolat n'est plus avec moi comme il était, la mode m'a entraînée, comme elle fait toujours : tous ceux qui m'en disaient du bien m'en disent du mal.* ». Madame de Grignan la remercie pour l'avertissement, mais elle l'informe qu'elle continue à consommer du chocolat régulièrement, tout en se portant bien. Au mois de mai, Mme

de Sévigné la met une nouvelle fois en garde « *Je vous en conjure, ma très chère bonne et très belle, de ne point prendre de chocolat, je suis fâchée avec lui personnellement.* ». En octobre elle poursuit « *La marquise de Coëtlogon prit tant de chocolat, étant grosse l'année passée, qu'elle accoucha d'un petit garçon noir comme le diable, qui mourut.* ». Mais de nouveau, en janvier 1672, elle conseillera à sa fille de boire du chocolat pour se fortifier. (5,19,21)

A ses débuts en France, le chocolat était l'apanage des gens de haute société, excepté dans le Sud de la France où les marchands juifs s'étaient installés. Alors qu'il est défendu par nombre de médecins, son usage se répand. En 1692, le roi Louis XIV décide de le taxer lourdement afin de financer l'effort de guerre. (19,20,22)

Il est à noter que les mots « cacao » et « chocolat » font leur apparition dans la première édition du dictionnaire français en 1694. (23,24)

iv. La Grande-Bretagne

Les Anglais entendent parler du cacao pour la première fois par le botaniste John Gerard, au début des années 1600, mais ils n'accordent pas la moindre importance à cette nouvelle denrée. Même les pirates qui harcelaient ports et routes commerciales espagnols semblaient ignorer sa valeur économique et culturelle et en jetaient des cargaisons entières, prenant les fèves pour des crottes de chèvre. Quant à la boisson qui est fabriquée à partir de ses fèves, elle n'arrive en Angleterre qu'en 1648, presque en même temps que deux autres boissons : le thé venu d'Asie et le café venu d'Afrique.

C'est le café qui séduisit d'abord la société britannique. Mais le chocolat ne tarda pas à lui emboîter le pas. La première maison du chocolat fut ouverte par à Londres en 1657. Mais étant très cher, il était considéré comme un breuvage réservé à l'élite. En Angleterre comme dans d'autres pays, le gouvernement vit dans le chocolat une source potentielle de revenus. Les importateurs furent obligés d'acquitter une forte somme pour chaque sac de fèves de cacao introduit dans le pays, et en 1660 une taxe fut imposée sur tout le chocolat fabriqué et vendu en Angleterre. Malgré cela, en 1674 on trouve en Angleterre du chocolat vendu sous forme de « boudin » ou de pastille, afin de pouvoir le consommer chez soi.

Vers 1850, cette lourde imposition avait tout de même diminué, grâce au volume important des importations mais aussi à l'influence d'industriels respectés qui avaient convaincu le gouvernement des vertus nutritionnelles du chocolat. (19,20,22)

v. L'Allemagne

C'est en 1641 que Johann Georg Volckamer, un médecin naturaliste et écrivain allemand, rapporte le chocolat d'un de ses voyages à Naples. Il fut d'abord considéré comme un breuvage médicinal et était uniquement vendu par les apothicaires. Mais très vite, il commence à susciter un fort engouement, notamment auprès de la haute société allemande. Son succès fut tel qu'en 1704 Frédéric 1^{er} décide, comme ses voisins européens, de le taxer lourdement, ce qui en fit un produit de luxe, presque exclusivement réservé à l'aristocratie.

L'Allemagne commença à produire son propre chocolat à grande échelle en 1756, lorsque le prince Frédéric-Guillaume de Schaumbourg-Lippe qui était un fervent défenseur du développement de l'industrie, fonda une fabrique de chocolat à Steinhude. Il y amena des ouvriers portugais, particulièrement experts dans la fabrication du chocolat. Des chocolateries virent ensuite le jour dans tout le pays. (19,20,22)

vi. L'Autriche

En 1711, l'empereur Charles VI quitte Madrid pour installer sa cour à Vienne. Il rapporte évidemment avec lui le chocolat et l'aristocratie viennoise adopte bien rapidement la nouvelle boisson. L'Autriche ne leva pas d'impôts aussi prohibitifs que l'Allemagne sur le chocolat, il ne fut donc pas réservé à l'aristocratie. C'est ainsi que l'on raconte qu'un Allemand en visite à Vienne fut choqué de voir un simple tailleur boire une tasse du meilleur chocolat. (22)

vii. La Suisse

Bien qu'elle soit à l'heure actuelle l'un des principaux pays producteurs de confiseries chocolatées, la Suisse ne découvrit le chocolat que tardivement. C'est Henri Escher, un diplomate suisse et à cette époque maire de Zurich, qui le rapporte d'un de ses voyages à Bruxelles en 1697. Mais ce n'est qu'en 1750 que la Suisse y succombe réellement, convaincue par les marchands ambulants italiens qui le vendaient sur les foires et les marchés. (19,20,22)

2. Le cacao et la Pharmacie

Le cacao a pendant longtemps eu une place au sein du monde pharmaceutique, bien qu'on ne l'y observe presque plus aujourd'hui. Très tôt, la graine et le beurre de cacao furent inscrits dans les nombreuses Pharmacopées. On les retrouve d'ailleurs dans la première édition du codex français de 1818. La « graine de cacao » y sera inscrite de la première à la quatrième édition (de 1818 à 1884) et le « beurre de cacao » de la première à la huitième édition (de 1818 à 1965). On retrouvait même le « chocolat » dans certaines Pharmacopées européennes (notamment en Belgique, en Suisse ou en Espagne). La théobromine, alcaloïde extrait du cacao, est inscrite elle encore aujourd'hui inscrite dans la pharmacopée européenne, contrairement au beurre de cacao qui lui en a disparu. (22,25)

Comme on peut le voir dans les Pharmacopées, le cacao aura été utilisé en pharmacie sous différentes formes : la poudre de cacao, le beurre de cacao ou encore la plante en nature. La poudre était utilisée comme excipient aromatisant et correcteur de goût dans plusieurs spécialités médicamenteuses. On peut notamment citer l'Arobon Nestlé® qui était un traitement de la diarrhée ; le Radiobaryx Seclor®, un opacifiant utilisé pour l'exploration du tube digestif ; la Calcomagnésie Aubert® utilisée contre les spasmes et l'acidité du système digestif. Cette même poudre rentrait dans la composition de certaines farines destinées aux bébés du deuxième âge. (19,25)

Une autre forme du cacao fut très utilisée dans le monde pharmaceutique : le beurre de cacao. On se servait de ce dernier comme excipient pour les suppositoires et plus rarement les ovules, de par sa température de fusion de 34 à 35°C et donc proche de la température corporelle. On ne l'utilise plus car il présentait des problèmes de surfusion. En effet, le beurre de cacao s'altère si on le chauffe à trop forte température. On pouvait aussi le retrouver dans des préparations de dermo-pharmacie pour ses propriétés hydratantes. (25)

Le cacao pouvait également être utilisé en nature dans des mélanges de plantes utilisées en tisanes pour diverses indications thérapeutiques, notamment comme antirhumatismal ou régulateur de multiples fonctions de l'organisme comme la digestion. (25)

Impossible de parler du cacao dans le monde pharmaceutique français sans parler de la famille Menier. Jean Antoine Brutus Menier, issu d'une famille en lien avec la pharmacie et la chirurgie, était lui-même apothicaire. Il a vingt-et-un an lorsqu'il ouvre sa droguerie à Paris. Il cherchait toujours les meilleures matières premières. Un jour, il s'intéressa au cacao et le recommanda bien vite comme excipient, notamment comme correcteur de goût. Il décida d'aller s'installer dans la ville de Noisiel, dans un petit moulin qu'il transforma par la suite en véritable industrie pour la confection de poudres médicinales. Il inventera un système de meules pour la pulvérisation des drogues végétales et minérales, qu'il applique au traitement du cacao. Grâce à ses recherches et son travail vont sortir de son usine les premières tablettes de chocolat, en 1836. Elles sont donc composées de 6 barres semi-cylindriques [Fig. 29]. Encore une fois, à cette époque, le chocolat était considéré comme produit de santé et il était recommandé de manger une barre par jour. Malgré l'engouement suscité par ces tablettes, l'usine continue de fabriquer d'autres produits médicaux.

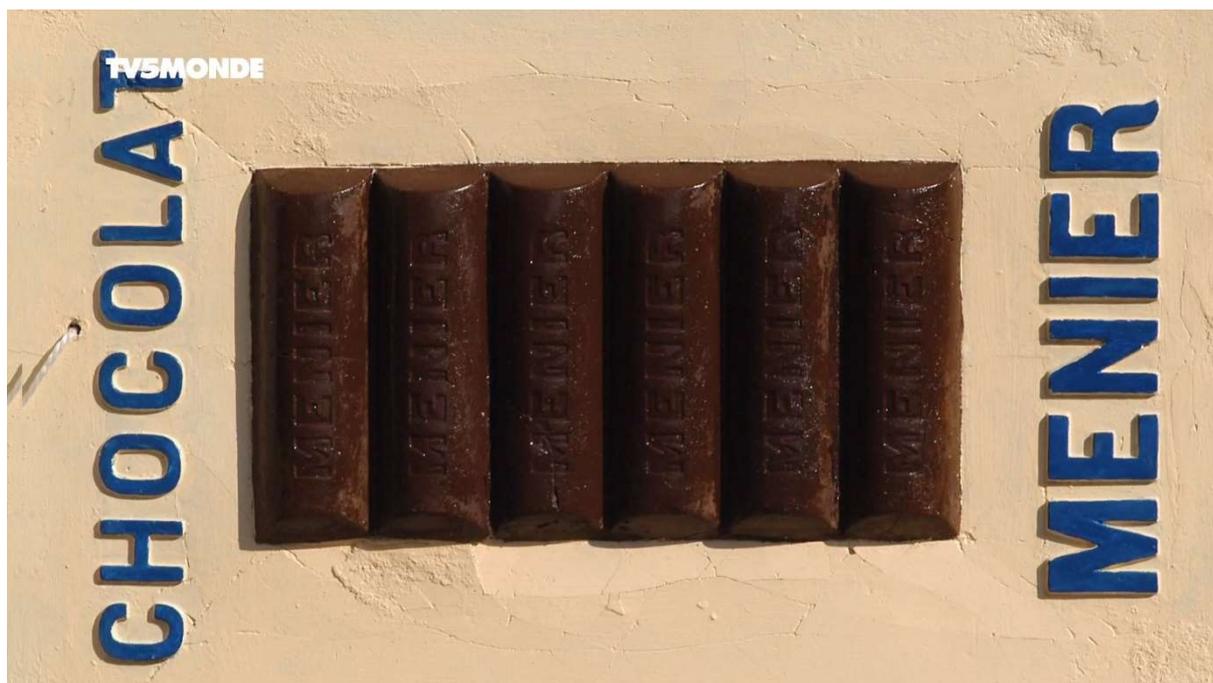


Figure 29 : Tablette de 6 barres de chocolat Menier®
Film « L'histoire fondante du chocolat Menier® »

C'est à la mort de Jean-Antoine Brutus que son fils Emile Justin décide de la consacrer uniquement à la fabrication du chocolat. Il comprend rapidement que pour fabriquer du chocolat, il lui faut des cabosses. Il achète donc une plantation de huit hectares de cacaoyers au Nicaragua. Il déposera de nombreux brevets, dont la machine pour emballer les tablettes. Il cultivera également sa propre betterave et ouvrira sa propre raffinerie afin de produire lui-même le sucre qui rentre dans la

composition de ses tablettes. L'entreprise Menier connaîtra son apogée avec la troisième génération, à la fin du XIX^{ème} siècle, époque à laquelle l'entreprise détient plus de 50% des parts mondiales du marché du chocolat. Malheureusement, avec l'apparition de la concurrence étrangère et les deux guerres mondiales, la production à Noisiel sera mise à mal. L'entreprise sera finalement rachetée par Nestlé en 1988. (19,26)

On peut également citer un autre pharmacien français, Sulpice Debaube. C'était un pharmacien breveté de Louis XVI, également fabricant de pistoles de chocolat pour la reine Marie-Antoinette. En 1800, il abandonne sa pharmacie de Saint-Germain-en-Laye pour ouvrir son premier magasin de chocolat à Paris. En 1823, il s'associe avec son neveu, Antoine Gallais, lui aussi pharmacien. Ce dernier est l'auteur de « Monographie du cacao ». Ils produiront ensemble des chocolats dits « de régime ». (19)

Aujourd'hui, dans nos pharmacies, on peut encore trouver des produits contenant du cacao, que ce soit en phytothérapie, en nutrition ou en dermocosmétique. Deux laboratoires, Arkopharma® et Nat & Form® vendent des produits de phytothérapie contenant des fèves de cacao. Ces derniers sont indiqués comme « adjuvants des régimes amincissants » de par leur richesse en polyphénols.

Le laboratoire Pileje® quant à lui commercialise une gamme de produits nutritionnels, Insudiet® au sein de laquelle on retrouve une poudre permettant de préparer une boisson cacaotée hyperprotéinée contenant 18,2% de cacao maigre.

En dermocosmétique, on retrouve encore un peu l'utilisation du beurre de cacao pour ses propriétés d'hydratation. Le plus connu d'entre eux est probablement le stick à lèvres Dermophil Indien®, qui réhydrate et protège les lèvres fragilisées. On retrouve également du beurre de cacao dans la crème hydratante visage à l'iris du laboratoire Weleda®. Les laboratoires Nuxe® et Vichy® possèdent eux aussi des produits contenant du beurre de cacao. (4,27)

3. Les ustensiles du cacao

Les premiers ustensiles liés au cacao ont bien sûr été observés chez les Mayas et les Aztèques. On peut citer trois ustensiles utilisés quotidiennement afin de préparer leur boisson fétiche : le chocolat. Dans l'ordre, on trouve d'abord une plaque en pierre chauffée accompagnée d'un cylindre de bois ou de pierre, utilisés afin de réduire les fèves en poudre [Fig. 30]. Vient ensuite un récipient haut, dans lequel était versé la poudre obtenue précédemment, avec les autres ingrédients comme la purée de maïs et les épices rentrant dans la composition de la boisson [Fig. 31]. Puis, vient un instrument essentiel, caractéristique de la préparation du chocolat : le « Mollinilo ». C'est une sorte de fouet en bois, dont le manche est frotté entre les deux paumes de la main afin d'induire une rotation [Fig. 32]. Cela servait à la fois à mélanger les ingrédients mais aussi, point essentiel, à faire mousser le chocolat.



Figure 30 : Préparation du chocolat par des Aztèques
futura-sciences.com



Figure 31 : Récipient haut servant à la préparation du chocolat
MARNIER V. Musée du chocolat de Bruxelles



Figure 32 : Collection de *Mollinilos* de différentes formes
MARNIER V. Musée du chocolat de Bruxelles - 2019

Ces mêmes outils vont être adaptés par les européens lorsqu'ils se mettent à consommer cette boisson venue du Nouveau-Monde. On retrouve le même système de contenant, associé à un fouet, mais de plus petite taille. Cet ustensile est nommé chocolatière. Il est bien vite considéré comme un objet de luxe, et il en existe de toutes les formes et de toutes les matières. On trouve des chocolatières en porcelaine joliment décorée, en cuivre, en argent, et même en or [Fig. 33].



Figure 33 : Collection de chocolatières
MARNIER V. Musée du chocolat de Bruxelles – 2019

Par la suite avec l'entrée en jeu de l'industrie dans la fabrication du chocolat, de nouveaux outils vont être utilisés. L'un des plus importants d'entre eux est la presse hydraulique, dont le brevet fut déposé par Van Houten en 1828 [Fig. 34]. Comme nous le verrons plus tard, cette presse permet de séparer la poudre du cacao et le beurre de cacao, avancée essentielle dans l'histoire du cacao.

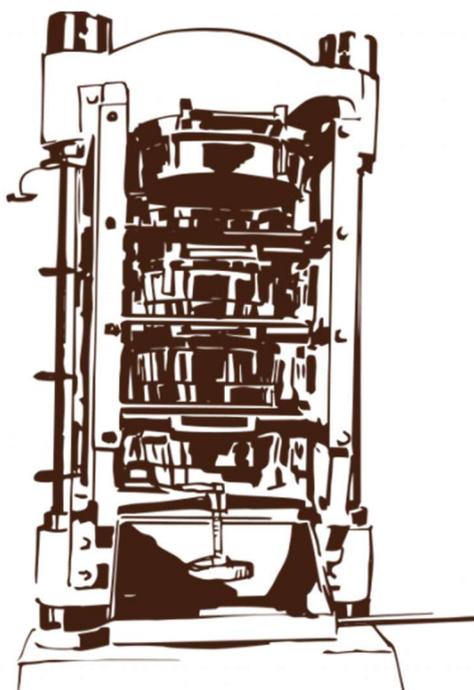


Figure 34 : Presse de Van Houten
barry-callebaut.com

4. Quelques chiffres

a) Pays producteurs

Comme nous l'avons vu précédemment, les premiers hommes à cultiver le cacao furent les Olmèques, qui transmittent l'art de cette culture aux Mayas. Finalement, avec la colonisation de l'Amérique et la popularité croissante du chocolat, sa culture s'est étendue à l'Afrique.

Dans les années 1900, on trouvait les principaux producteurs de cacao en Amérique. En effet, ces derniers représentaient 4/5ème de la production mondiale. Puis on a assisté à une réduction drastique de cette part, puisqu'elle ne représente plus que 36 % dans les années 80, puis 12 % dans les années 2000. Cette diminution est due à de multiples facteurs, notamment la propagation de certaines maladies endémiques. Dans les dernières années, elle est remontée à 16-17%. (5,28)

Concernant les producteurs d'Afrique de l'Ouest, c'est tout l'inverse, puisqu'en 1900 ils représentaient seulement 16 % de la production mondiale, contre 70 % aujourd'hui, malgré les maladies endémiques qui attaquent les cacaoyers africains actuellement. Dans les années 1950, la production des fèves de cacao par le continent africain représente déjà les deux tiers de la production mondiale, qui est alors estimée à 700 000 tonnes. (5,28)

Concernant les producteurs asiatiques, l'Indonésie est très présente. La production est passée de 5 % de la production mondiale à 19 % durant le 20ème siècle, mais cette dernière est redescendue à 6-7% aujourd'hui. (5,28,29)

En 2019, la production de fèves de cacao s'élevait à 4,8 millions de tonnes, dont 77% en Afrique, 17% en Amérique et 6% en Asie On observait comme pays leaders :

- La Côte d'Ivoire avec 46% de la production mondiale soit 2,2 millions de tonnes
- Le Guana avec 17% de la production mondiale soit 816 mille tonnes
- L'Equateur et le Cameroun avec 5% de la production mondiale soit 240 mille tonne chacun (28,30)

b) Pays transformateurs et consommateurs

Les fèves de cacao sont principalement utilisées pour la fabrication de chocolat. Elles sont d'abord vendues par les producteurs aux négociants de cacao. Les trois plus importants sont des entreprises de l'agro-alimentaire : Olam, Cargill et Barry Callebaut. Ces derniers contrôlent à eux seuls près de la moitié du commerce mondial de cacao. Ils revendent ensuite ce cacao aux entreprises chargées de la transformation. On trouve parmi elles des géants de l'industrie, comme Mars®, Mondelez® ou Ferrero®. Mais on retrouve également les petits chocolatiers artisanaux et familiaux. (31)

L'Europe est le premier transformateur de fèves de cacao : 36% de la récolte annuelle y sont transformés. Viennent ensuite l'Asie (25%), l'Afrique (20%) et les Amériques (19%). (30)

Il semble donc logique que les européens soient les premiers consommateurs de chocolat du monde. En effet, 45% de chocolat produit à l'année et consommé en Europe. Viennent ensuite les Amériques (32%), l'Asie (19%). En revanche, l'Afrique, qui est le premier continent producteur de fèves de cacao, se retrouve le dernier continent consommateur, avec seulement 4% de la consommation mondiale. (30)

c) En France

En 2019, la France a fabriqué 730 092 tonnes de produits finis chocolatés dont 62,5% furent exportés. Concernant la consommation des Français, en 2019, le marché du chocolat représente 325 458 tonnes de produits vendus pour 3 035 millions d'euros de chiffre d'affaires. La consommation moyenne s'élève à 8,1kg de chocolat par an et par foyer. Près de 70% des produits chocolatés sont vendus en grande surface. (32)

5. Questions éthiques

La culture du cacao pose plusieurs questions d'ordre éthique et ce depuis sa découverte par les européens lors de leur arrivée en Amérique. En effet, la popularité du chocolat allant croissante, ces derniers réduisirent les populations locales en esclavage et les utilisaient dans les exploitations de cacao. Ce problème perdura avec l'expansion de la culture du cacao en Afrique. Bien que l'esclavage ait été aboli depuis, la culture du cacao pose deux problèmes majeurs à l'heure actuelle : le travail forcé des enfants et la déforestation entraînée par l'extension des plantations de cacaoyers.

a) Le travail des enfants

En 2000, la *British Broadcasting Corporation* (BBC) diffuse une émission « *Slavery : Une enquête mondiale* » qui met en lumière le problème du travail des enfants dans l'industrie du cacao, notamment en Afrique de l'Ouest où se situent les principaux producteurs mondiaux : la Côte d'Ivoire et le Ghana. De fait, ce reportage rapporte la généralisation de l'esclavage et du trafic d'enfants dans la culture du cacao. Suite à cela, la « *Chocolate Manufacturer Association* » et ses membres signent en septembre 2001 un document, le « *Protocole Harkin-Engel* ». Ce protocole constitue un accord volontaire entre les gouvernements, l'industrie mondiale du cacao ainsi que les producteurs de cacao. Il prévoit une série d'actions afin de mettre aux fins aux pires formes de travail des enfants, mais pas d'y mettre fin complètement, d'ici 2005. Ces accords étant basés sur le volontariat, et aucun contrôle n'étant réalisé, on ne voit malheureusement aucune amélioration. (33)

En 2010 sort un nouveau reportage « *The dark side of Chocolate* » qui met de nouveau en avant ces pratiques d'esclavagisme et d'exploitation des enfants, principalement en Côte d'Ivoire et au Ghana. Dans ce reportage, on voit des passeurs qui vont trouver des enfants, en leur promettant de les sortir de la misère s'ils viennent en Côte d'Ivoire pour travailler dans les exploitations de cacao. Souvent, les enfants les suivent. Ils sont transportés dans un premier lieu par des bus, et c'est tout le réseau qui essaye à l'heure actuelle d'empêcher ce trafic. (34)

En 2011, on comptait encore 1,8 millions d'enfant exploités au Ghana et en Côte d'Ivoire.

b) La déforestation

Avec la demande croissante en produits cacaotés (augmentation de la consommation de 2 à 5% par an), on a pu observer en toute logique une production croissante de cacao. Malheureusement, cela a pour conséquence une déforestation intense, et bien souvent illégale, pour augmenter les espaces de culture du cacao.

Ce problème a été soulevé, notamment en Côte d'Ivoire et au Ghana, qui sont actuellement les deux plus gros producteurs mondiaux. Le secteur du chocolat est le premier facteur de déforestation dans ces deux pays. Des parcs nationaux et des aires protégées ont été complètement défrichés pour laisser place à des exploitations de cacao. Cette déforestation de masse a un impact catastrophique sur les populations animalières, principalement les éléphants et les chimpanzés.

De plus le secteur du chocolat étend ce modèle de production ailleurs en Afrique, ainsi qu'en Asie du Sud-Est et en Amérique latine. On peut notamment citer l'Indonésie, où d'industrie du chocolat est responsable de 9% de la déforestation totale, ce qui représente 690 000 hectares.

Suite à ce constat, en 2017, le Prince Charles d'Angleterre a amorcé avec les grandes marques du chocolat et les principaux pays producteurs un programme afin de lutter contre la déforestation. Malheureusement, à l'heure actuelle rien n'a encore été fait.

Cette déforestation est d'autant plus tragique qu'elle empêche une production de cacao durable. En effet, actuellement les producteurs s'échinent à cultiver leur cacao en plein soleil, alors que comme nous l'avons vu précédemment, le cacaoyer est un arbre qui se développe mieux sous couvert forestier. Les exploitations de cacao ainsi obtenues sont donc rentables plus rapidement, mais moins longtemps, car sans la protection des grands arbres, le cacaoyer arrêtera de produire des cabosses plus tôt. De plus, la culture de cacaoyer en plein soleil nécessite l'utilisation de plus de produits phytosanitaires, car les grands arbres permettent aussi de protéger le cacaoyer de certaines maladies. (31)

6. Culture

a) Culture

Il existe 3 modes de reproduction pour le matériel végétal du cacaoyer : le greffage, le bouturage et la reproduction des graines, qui est la plus simple et la plus utilisée. C'est donc cette dernière que nous allons étudier ici.

i. Pépinière

La réalisation d'une pépinière permet de limiter la forte mortalité des graines lorsqu'elles sont plantées directement dans le sol de la cacaoyère. Elle sert à produire les jeunes plantules et sera installée 5 à 8 mois avant la plantation.

D'un point de vue purement pratique, elle doit idéalement être située le plus près possible de la future plantation et des points d'irrigations. Il faut un terrain bien drainé et plat ou légèrement en pente, afin d'éviter la stagnation d'eau. On construira également une ombrière, nécessaire au bon développement des jeunes plants. Celle-ci doit avoir une hauteur d'au moins 2m50. Elle est généralement construite avec du bois ou des bambous et recouverte de feuilles de palme qui laisseront passer 50 % de la lumière [Fig. 35].



Figure 35 : Ombrière
Production et transformation du cacao – EDOH ADABE K.

Les jeunes plants vont se développer dans des sachets, en plastique ou en toile de jute, que l'on remplit de terre humifère et sablo-argileuse. Le mieux pour le remplissage de ces sachets est de choisir une terre de surface, ayant été sous couvert forestier. On évitera la terre des anciennes cacaoyères, qui peut transmettre certaines

maladies. Il faut que cette terre soit légère, elle peut être mélangée avec du sable si besoin. La partie inférieure des sachets est perforée.

Ces sachets seront disposés dans la pépinière, et maintenus bien droits, sur des planches. Pour une plantation d'un hectare, il faut compter environ 2000 plants, l'équivalent de 60 à 70 cabosses. (35,36)

ii. Semis

Afin d'avoir une bonne rentabilité, il est préférable d'utiliser les graines des arbres les plus productifs. Pour cela, on récolte des cabosses saines légèrement avant leur point de maturité, lorsqu'elles sont colorées aux trois quarts. On les ouvre précautionneusement en évitant d'abîmer les fèves présentes à l'intérieur puis on retire le mucilage qui les entoure afin d'éviter qu'elles moisissent. Pour cela on effectue un lavage en trois étapes : d'abord un lavage à grande eau, puis frottement avec du sable ou de la sciure de bois, puis un nouveau rinçage à l'eau. A l'issue de ces étapes, il faudra éliminer les fèves plates, trop petites, germées et celles qui surnagent.

Les graines ainsi sélectionnées doivent être semées dans les trois jours suivant la récolte, car elles perdent rapidement leur pouvoir germinatif une fois en dehors de la cabosse. On place les semis dans les sachets préalablement préparés, au milieu, à environ 1cm de profondeur, la partie la plus large de la graine vers le bas car c'est à ce niveau que se situe le germe. Puis on recouvre de terre, que l'on tasse légèrement avec les doigts [Fig. 36].

La germination commence vers le 5ème jour. Si la pépinière est bien entretenue, au bout de 5 à 6 mois les plants mesurent 50cm de haut [Fig. 36]. Ils resteront 6 à 8 mois en pépinière avant d'être plantés dans la cacaoyère. Suite au semis, les sachets seront arrosés tous les jours pendant deux semaines, puis une fois tous les deux jours, afin d'assurer un taux d'humidité suffisant. Il faut également procéder au désherbage systématique des pots, afin d'éviter toute concurrence hydrique et nutritionnelle. De plus, on regroupe dans la pépinière les plants de même taille. L'ombrage sera réduit progressivement, un mois avant le transfert dans la cacaoyère.

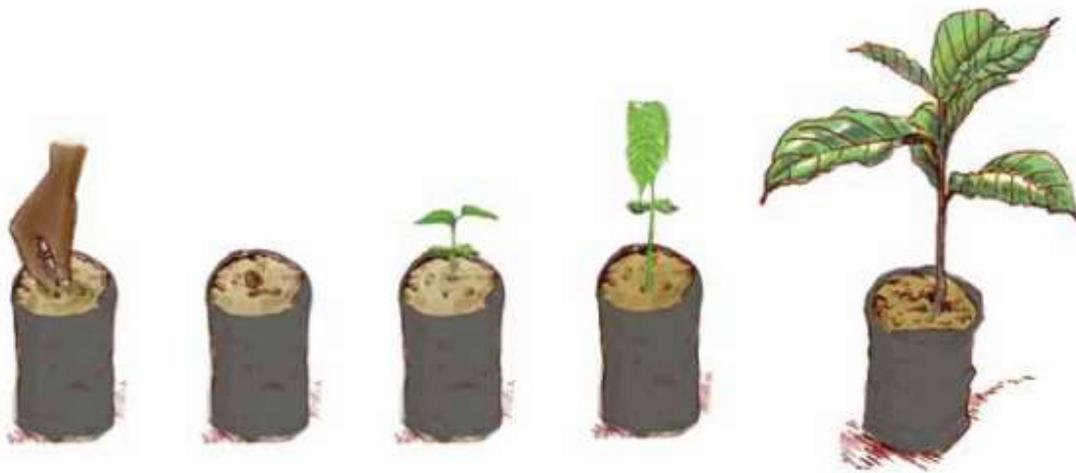


Figure 36 : Semis de cacaoyer dans des sacs en jute
Production et transformation du cacao – EDOH ADABE K.

iii. Plantation

Le choix du terrain pour la future cacaoyère est important. En effet, il faut que ce dernier respecte les besoins spécifiques du cacaoyer en matière de température, de pluviométrie et d'altitude, vus précédemment. Mais il doit également être facile d'accès afin d'en faciliter l'entretien, notamment les arrosages et les éventuels traitements phytosanitaires.

Idéalement, il faudra choisir un sol riche, bien drainé, profond mais meuble en surface afin que les racines secondaires puissent se développer, avec des nappes phréatiques se situant à au moins 1 mètre de profondeur. De plus, le cacao préfère des sols au pH acide, inférieur à 6. Pour déterminer la qualité du sol, on peut se fier à certains arbres indicateurs (par exemple *Ceiba pentadra* ou encore *Ficus mucoso*). On peut également observer la présence de termitières, qui sont un bon indicateur de la profondeur du sol. En effet, plus elles sont hautes, plus le sol est profond. Pour savoir si le sol est riche, on peut rechercher la présence de déjections de vers de terre. (35,36)

Afin d'étudier la qualité du sol, on peut également utiliser la technique dite du bâton. Pour cela il faut prélever des échantillons de terre auxquels on ajoute quelques gouttes d'eau, puis que l'on roule afin de former un bâton. Si le bâton ne parvient pas à se former et que les éléments se dispersent dans la main, c'est que le sol est riche en sable, ce qui n'est pas favorable à la culture du cacao. Si le bâton se forme bien, mais qu'il se plie comme une pâte à modeler, c'est que le sol est argileux, ce qui ne

convient pas bon non plus. Les deux sols les plus favorables à la culture du cacaoyer sont les sols argilo-sableux ou sablo-argileux, qui donneront respectivement des bâtons qui se forment bien mais qui cassent quand on les plie, ou qui commencent déjà à se casser dans la main. (36)

Trois à six mois avant la plantation des cacaoyers, il faut préparer le site qui va les recevoir et dégager le terrain. Pour cela on délimite la parcelle, puis on sélectionne les arbres favorables au développement du cacaoyer, c'est à dire les arbres qui apporteront de l'ombre sans entrer en compétition pour les apports nutritionnels. On compte en général 35 à 40 arbres d'ombrage par hectare. Ces derniers seront plantés en quinconce avec les cacaoyers.

Les jeunes plants seront mis en terre en début de saison des pluies, préférentiellement au moment des heures fraîches. Au préalable, des trous d'environ 40 x 40 x 40cm sont creusés au niveau des emplacements qui ont déjà été déterminés et marqués par la mise en place de piquets. Au fond de ces trous, on met une couche de terre humifère, ou de fumier bien décomposé. On cisaille délicatement le sachet contenant le plant, puis on le retire. Il faut découper les racines qui dépassent de la motte, ainsi que l'extrémité de la racine pivot qui est généralement enroulée sur elle-même. On place verticalement le plant, avec sa motte, puis on recouvre le trou avec le reste de la terre, en tassant fermement pour l'égaliser afin d'éviter les cuvettes autour du plant qui pourraient entraîner une stagnation d'eau. Le collet du jeune plant doit se trouver au-dessus du niveau du sol. Afin de maintenir un niveau d'humidité suffisant pour le jeune cacaoyer on recouvre le sol de paillage, en laissant le collet dégagé. (35)

iv. Entretien de la cacaoyère

Un bon entretien de la cacaoyère est essentiel, car il constitue un moyen de prévention important contre les différentes maladies du cacaoyer.

Plusieurs actions sont nécessaires pour garder une cacaoyère en bonne santé, et avec une bonne croissance. En effet, les besoins des cacaoyers évoluent avec leur maturation. Par exemple, durant la première année, ils n'ont besoin que de 50 % de luminosité, et il faudra augmenter progressivement le passage de lumière en taillant les arbres d'ombrage, afin d'atteindre 75 % de luminosité lors de la 3^{ème} année.

Les agriculteurs doivent également désherber au moins 3 fois par an, afin de s'assurer une bonne floraison et par conséquent une bonne récolte. Ce désherbage se fait généralement manuellement, et peut parfois être complété par un désherbage chimique. Ce dernier ne doit pas être réalisé durant la saison des pluies.

Comme nous l'avons vu dans la description botanique du cacaoyer, lorsqu'il est cultivé par l'homme, ce dernier subit un taillage. En effet, on limite la hauteur de l'arbre en ne gardant que la première couronne, et en coupant les éventuels rameaux secondaires qui se forment au-dessus. De plus, tous les 2 à 3 mois, on supprime les gourmands au sécateur et les branches secondaires tombantes, ainsi que les parties affectées par les parasites. Lorsqu'ils sont encore jeunes il est parfois nécessaire de réaliser un tuteurage des cacaoyers afin qu'ils ne cèdent pas sous le poids des cabosses.

Afin d'avoir une croissance satisfaisante les agriculteurs utilisent également des engrais. Le cacaoyer a besoin de peu d'azote, en revanche il est gourmand en phosphore, potassium et bore. Une fumure minérale est donc efficace. On réalise l'épandage un mois après la taille, la surface de la couronne d'épandage augmentant avec l'âge du cacaoyer. Le dépôt d'engrais est recouvert par un dépôt de sol, afin d'éviter la perte par ruissellement. (35)

v. Récolte

La première récolte intervient environ trois ans après la plantation. Les périodes de récolte dépendent des régions géographiques et donc du climat. Dans les pays situés juste sous l'équateur on peut avoir des récoltes tout au long de l'année. Plus on s'en éloigne, plus les saisons de récolte sont marquées. Elles se font deux fois par an, sur des périodes de plusieurs mois. Par exemple, en Côte d'Ivoire on a la « grande récolte » qui s'effectue d'octobre à février, et la « petite récolte » de mars à juin. Ces grandes et petites récoltes sont effectuées respectivement avant et après la saison des pluies. (5)

La récolte est une opération délicate, car comme nous l'avons vu précédemment, le cacaoyer a un développement en cycle continu. Ce qui signifie qu'à tout moment, sur un même coussinet floral, on peut trouver des boutons floraux, des fleurs et des fruits à tous les stades de maturation. Il faut donc faire attention lorsque l'on récolte les cabosses déjà mûres, à ne pas endommager les fleurs et formes immatures, qui constituent les prochaines récoltes. De manière générale, les planteurs utilisent des machettes, des sécateurs pour les fruits les plus bas, ou des émondoirs afin de récolter les cabosses les plus hautes [Fig. 37]. (5,35)



Figure 37 : Récolte des cabosses à Sao Tomé
jeuneafrique.com

b) Maladies et ravageurs

i. Maladies virales

(a) Swollen shoot, ou virus de l'œdème des pousses de cacao

Historique : Cette maladie a été décrite pour la première fois en 1936 au Ghana, et a fait l'objet du plus grand et plus coûteux projet d'éradication de cacaoyers dans le monde. Elle a été identifiée officiellement en 1940. De cette date à nos jours, 200 millions de cacaoyers ont été arrachés, l'équivalent de 150 000 hectares. (37)

Localisation : Actuellement, c'est une maladie endémique au Ghana, au Togo et au Nigeria. Elle a fait son apparition en Côte d'Ivoire il y a plusieurs années sans avoir encore atteint un niveau endémique. (29,37,38)

Agent responsable : C'est le *Cocoa Swollen Shoot Virus* (CSSV), un badnavirus de la famille des *Caulimoviridae*, (pararétrovirus à ADN double brin bacilliformes).(39)

Vecteur et diffusion : Ce virus est transmis par des cochenilles, dont les espèces les plus fréquemment retrouvées sont *Planococcoïdes njalensis*, *Planococcus citri* et *Ferrisia virgata* [Fig. 38]. Ces dernières acquièrent le virus en se nourrissant sur les parties tendres de cacaoyers déjà infectés. La transmission est semi-persistante, c'est-à-dire que le virus rentre dans le système circulatoire de l'insecte, mais ne peut pas s'y répliquer. Puis la cochenille le transmettra en se nourrissant sur des plants sains.



Figure 38 : Cochenille *Planococcus citri*
antropocene.it

Les cacaoyers malades constituent le premier réservoir du virus, et la maladie va se disséminer d'un arbre malade vers un arbre sain, par déplacement de la cochenille.

Certaines plantes d'ombrages peuvent également être des hôtes passifs de ce virus, on peut notamment citer *Cola chlamydantha*, *Ceiba pentandra*, *Adansonia digitata*, *Cola gigantea*, *Sterculia tragacantha*.

Symptômes : Les symptômes dus au *Swollen Shoot Virus* sont multiples. Ils varient et sont plus ou moins sévères en fonction de la souche virale responsable.

On observe principalement des gonflements au niveau des rameaux orthotropes et des racines [Fig. 39]. Les feuilles aussi peuvent être touchées, avec l'apparition de bandes rouges au niveau des nervures des jeunes feuilles [Fig. 40] et une chlorose (jaunissement dû au manque de chlorophylle) sur les feuilles matures [Fig. 41]. Concernant les fruits, les cabosses voient leur taille diminuer et une modification de leur forme, qui devient plus arrondie.



Figure 39 : Gonflement des tiges du cacaoyer dû au SSV icco.org



Figure 40 : Apparition de bandes rouges sur les feuilles agritop.cirad.fr



Figure 41 : Chlorose des feuilles agritop.cirad.fr

A ces symptômes morphologiques s'ajoute une baisse spectaculaire du rendement, qui diminue de 25 % la première année, puis de 50 % la deuxième. L'arbre mourra finalement au bout de quelques années. (37)

Traitement et prévention :

Lutte culturale : Le premier traitement est l'arrachage des cacaoyers malades, ainsi que de leurs voisins immédiats.

Le moyen de prévention essentiel est l'isolation des plants sains en mettant une distance entre les anciens plants et les nouveaux. La recommandation est de 10m, mais elle est rarement suivie étant donné la perte de place que cette dernière entraîne.

L'isolation par la mise en place d'une barrière verte est également envisageable. Cela consiste à planter des plantes insensibles au virus, et n'étant pas des hôtes passifs. La problématique de ce système de barrière végétale pour les producteurs est de trouver des plantes aussi intéressantes économiquement que le cacao. D'après des études, les *Citrus* et les Palmiers à huile semblent être efficaces. Il faut absolument limiter les hôtes passifs du CSSV, cités précédemment. (35,37)

Devant l'ampleur du problème causé par le Swollen shoot, de nombreuses recherches ont été réalisées, donnant de nouvelles possibilités de lutte. En effet les chercheurs essaient de créer des variétés de cacao hybrides, douées de résistance à ce virus, avec des résultats prometteurs. A l'heure actuelle, aucune de ces variétés n'est encore utilisée en culture.

Les chercheurs étudient aussi la possibilité de créer une protection croisée, dont le principe est d'inoculer des souches bénignes de virus aux cacaoyers. Actuellement, deux souches de CSSV ont été découvertes, CSSV N1 et CSSV 365B, qui seraient capables de protéger les cacaoyers des effets indésirables les plus graves dus aux souches virulentes. (37)

Lutte chimique : Actuellement, aucun insecticide n'est réellement efficace contre les cochenilles et il n'existe aucun pesticide pour éviter le CSSV, ni pour le traiter. (29)

(b) Autres maladies virales

Les autres maladies virales du cacao sont beaucoup moins répandues, et donc moins destructrices pour les cultures. Il n'y a donc pratiquement aucune étude réalisée sur ces dernières. On peut malgré tout en citer trois : le *mottle leaf virus*, ou maladie de la marbrure des feuilles ; le *cocoa yellow mosaic* et le *cocoa necrosis virus*. (29)

ii. Maladies fongiques ou apparentées

(a) Pourriture brune des cabosses

Historique : Les espèces responsables de la maladie de la pourriture brune des cabosses ont été décrites pour la première fois en 1876 par le mycologue allemand Heinrich Anton DE BARY. A l'échelle mondiale, la pourriture brune des cabosses fait partie des maladies les plus destructrices, pouvant causer jusqu'à 20-25% de perte de la production. Elle a notamment causé énormément de pertes au Cameroun, ces dernières étant estimées à 50% de la production et pouvant aller jusqu'à 80% dans les zones les plus sévèrement touchées. (40)

Agents responsables : Cette maladie est provoquée par des pseudo-champignons microscopiques du genre *Phytophthora*. Ce sont des oomycètes appartenant à la famille des Péronosporacées. On retrouve trois principales espèces mises en cause chez *Theobroma cacao* : *P. megakarya*, qui est la souche la plus virulente, *P. palmivora* et *Phytophthora capsici*, chaque souche étant présente dans des zones géographiques différentes. (35,41,42)

Localisation : Les espèces *P. megakarya* et *P. palmivora* sont observées principalement en Afrique occidentale et centrale ; *P. capsici* en Amérique Centrale et en Amérique du Sud. (29,41)

Diffusion : La propagation de cette maladie se fait principalement pendant les saisons pluvieuses. Une cabosse atteinte et momifiée peut produire jusqu'à 4 millions de sporanges, qui seront disséminés par la pluie, les fourmis, les insectes volants et certains rongeurs. Parfois, le matériel d'élagage utilisé par les agriculteurs peut lui aussi être contaminé et donc contaminant.

On observe une sporulation encore plus importante avec *Phytophthora megakarya*, qui possède une phase d'infestation racinaire, ce qui maintient un réservoir d'inoculum dans le sol qui va libérer des zoospores dans l'eau de surface.

Les spores ne survivent pas dans les cabosses momifiées, mais ont une durée de vie plus ou moins importante dans les débris : un an et demi pour *P. megakarya*, contre 10 mois pour *Phytophthora palmivora*. (41,43)

Symptômes : Au début de la maladie, on observe l'apparition de taches brunes et dures sur les cabosses, qui peuvent être recouvertes d'une couche blanchâtre due aux spores. Puis, tous les tissus vont être atteints, y compris les graines, qui vont se dessécher [Fig. 42]. La cabosse prendra alors un aspect momifié, et en deux semaines elle deviendra complètement noire [Fig. 43]. La maladie touche les fruits à tous les stades de maturation. On peut aussi observer des chancres sur l'appareil végétatif de l'arbre. (29,41)



Figure 42 : Coupe de cabosse atteinte de la pourriture brune
CILAS. C – ur-bioagresseurs-cirad.fr



Figure 43 : Cabosse atteinte par la pourriture brune
KOIGNY J.

Traitement et prévention :

Lutte culturale : cette dernière consiste principalement en la récolte des cabosses et chérelles atteintes. Il est aussi important d'avoir un bon réglage de l'ombrage et une régulation de l'humidité *via* une bonne aération. Cela passe donc par la taille des couronnes et l'entretien régulier de la plantation. Il est également important de réaliser l'écabossage en dehors de la plantation.

Lutte chimique : contre la pourriture brune des cabosses, les cultivateurs peuvent avoir recours à un traitement chimique efficace, qui consiste à pulvériser un mélange de Metalaxyl et de cuivre. (29,41,43)

Comme pour la plupart des maladies du cacaoyer, la solution la plus intéressante sur le long terme semble être la sélection de variétés résistantes.

(b) Balai de sorcière

Historique : cette maladie a été découverte en 1895 au Surinam. Elle s'est ensuite répandue en deux étapes. On a d'abord observé une première propagation très rapide en Amazonie, puis on a assisté à un ralentissement durant un siècle, avant une nouvelle avancée importante qui a amené cette maladie jusqu'à l'Etat de Bahia au Brésil, où elle a causé une diminution de la production de 90 % en dix ans, avec une perte estimée de 1 milliard de dollars. (5,43)

Localisation : On retrouve cette pathologie en Amérique latine, ainsi qu'aux Caraïbes. (29,41)

Agent responsable : L'agent responsable de cette maladie est un champignon, plus précisément un basidiomycète, du nom de *Moniliophthora perniciosa* (anciennement appelé *Crinipelis perniciosa*) appartenant à la famille des Marasmiacées. (44)

Diffusion : Ce champignon ne libère ses basidiospores que durant la nuit, et dans des conditions climatiques bien particulières. En effet, il faut que le taux d'humidité soit de 80 % et la température comprise entre 20 et 30°C. Ces spores ont une durée de vie très courte, sont sensibles à la lumière et à la sécheresse, mais ils sont produits en très grande quantité. Leur propagation se fait sur de courtes distances *via* les cours d'eau, et sur de longues distances grâce au vent. L'infection commence lorsque les basidiospores pénètrent dans la plante par des stomates ou des blessures

Symptômes : *Moniliophthora perniciosa* s'attaque uniquement aux tissus en croissance active. Le développement de son mycélium modifie le comportement du cacaoyer en provoquant la pousse de branches sans fleur et donc sans fruit, de couleur verte et possédant un aspect de balai, d'où son nom [Fig. 44]. Ces rameaux vont proliférer, l'arbre s'épuise, et meurt. On peut observer comme autre symptôme, beaucoup moins important, des déformations des cabosses, avec des zones de coloration vertes, donnant une impression de maturation inégale.



Figure 44 : Branche de cacaoyer atteint par la maladie du balai de sorcière
CILAS C. – ur-bioagresseurs-cirad.fr

Traitement et prévention : Le principal moyen de lutte contre le Balai de sorcière est l'élimination complète de tout le matériel infecté. C'est un travail qui demande beaucoup de main d'œuvre et de temps. Malheureusement il reste généralement des sources d'inoculum cachées persistantes.

(c) Moniliose

Historique : Appelée *Frosty pod rot* en anglais, ou pourriture givrée, les premiers cas de moniliose ont été recensés en 1851 en Colombie. En 1914, elle provoque d'énormes pertes, notamment en Équateur, avec des diminutions de production de 15 à 50 % en moyenne, et pouvant aller jusqu'à 90 % dans certaines zones. Le pathogène et la maladie qu'il entraîne furent décrits la première fois en 1918. Au niveau mondial, la perte de production due à cette maladie est minime, car elle ne concerne pas les principaux pays producteurs. (42,45)

Localisation : La moniliose est présente Amérique latine, notamment au Venezuela, puis sa présence s'est étendue en Amérique Centrale puisqu'on la signale en 1978 au Costa Rica et au Mexique en 2005. (29,46,47)

Agent responsable : C'est un champignon microscopique qui est responsable de la moniliose : *Moniliophthora roreri* (anciennement *Monilia roreri*). Ce dernier est un basidiomycète de l'ordre des Agaricales, appartenant à la famille des *Marasmiaceae*. (41,44)

Cycle de vie et diffusion : Ce qui est problématique avec *M. roreri*, c'est qu'il est capable de s'adapter à des conditions climatiques très variées, notamment en termes de températures qui peuvent aller de 18,6 à 28°C, ainsi que de précipitations pouvant varier entre 780 et 5500mm. On le retrouve dans un large panel d'altitudes pouvant aller du niveau de la mer à plus de 1000m. On constate donc que les conditions de développement de ce pathogène sont similaires à celles de la culture du cacaoyer.

En revanche, les différentes étapes de son cycle de vie s'effectuent dans des conditions différentes. Par exemple, la germination sera favorisée par une humidité relative élevée (93%) et une température relativement basse (22°C). Ces mêmes conditions sont favorables à la pénétration des conidies dans le fruit. Mais pour que la dispersion des spores se fasse bien, il faudra une température aux alentours de 26°C et une humidité plus faible (71 à 74%).

La germination s'effectue donc pendant la nuit, et la libération des conidies aux heures chaudes et sèches de la journée. La principale source d'inoculum de ce pathogène est la présence de fruits infectés, laissés dans l'arbre. Le pouvoir infectieux des conidies est de 9 mois dans une cabosse accrochée à l'arbre contre 3 mois au sol.

La dissémination se fait principalement par le vent, qui peut transporter les spores jusqu'à 30 mètres de distance. Une dissémination par l'eau est également possible, *via* le ruissèlement, notamment sur le tronc, ou encore par les éclaboussures des gouttes de pluie qui sont capables de former des petits nuages de spores. La dissémination par les insectes et les animaux est possible mais rare. Un autre facteur de dissémination important est l'activité humaine, notamment par le transport de matériel végétal contaminé, paraissant encore sain à cause de la longue durée d'incubation. (42,45,48)

Symptômes : Les symptômes sont observés principalement sur les fruits, et varient en fonction de l'âge de ces derniers. Ce sont les cabosses de moins de deux mois qui sont le plus susceptibles d'être atteintes. Elles ont un temps d'incubation de 40 jours, contre 60 jours pour celles qui sont plus âgées et qui seront donc moins touchées et présenteront des symptômes moins importants.

On observe en premier lieu l'apparition de points huileux sur la cabosse, ainsi qu'une déformation de ces dernières. Puis arrivent des lésions de couleur brune à noire, irrégulières et qui vont rapidement envahir toute la surface du fruit. Pour finir, on observe le développement du mycélium, qui est blanc, 3 à 5 jours plus tard, avec apparition d'un épais feutrage blanc dû aux spores [Fig. 45]. Les tissus internes de la cabosse sont dénaturés, détruits, et les fèves nécrosées forment une masse compacte rendue inutilisable [Fig. 46]. A l'extérieur, la cabosse prend un aspect momifié, et on compte à sa surface de 7 à 43 millions de spores par centimètre carré [Fig. 45]. (42,45)



Figure 45 : Cabosse atteinte de moniliose recouverte par le mycélium
CILAS C. – ur-bioagresseurs-cirad.fr



Figure 46 : Coupe de cabosse atteinte de moniliose
AVENILLO J. – ur-bioagresseurs-cirad.fr

Traitement et prévention : La meilleure méthode pour lutter reste la prévention, surtout dans les zones qui ne sont pas encore contaminées. Les recommandations sont classiques, notamment un bon drainage, une densité d'arbre correcte, une bonne fertilisation, un élagage régulier. Ces méthodes sont efficaces en prévention mais dans le cadre d'une infestation, elles permettront uniquement de limiter l'intensité de l'attaque.

Dès lors qu'il y a infestation, la première chose à mettre en place est la lutte culturale, en réduisant l'inoculum au maximum via une récolte hebdomadaire, qui sera plus efficace qu'une récolte mensuelle ou bimensuelle. Il ne faudra pas déplacer les cabosses atteintes ainsi ramassées, car cela augmente le risque de dispersion. On les laisse donc au sol sur le lieu de la récolte.

De plus, on peut limiter les conditions favorables au développement de la moniliose en réduisant le taux d'humidité de la plantation. Pour cela, plusieurs moyens sont disponibles comme réaliser un drainage superficiel du sol afin d'éviter les eaux stagnantes, désherber de manière fréquente afin d'avoir une meilleure circulation de l'air et diminuer l'accumulation de la rosée. On peut également réguler l'ombrage pour avoir une meilleure évacuation de l'humidité présente *via* une bonne ventilation. (45)

La lutte chimique peut elle aussi être utilisée, mais elle est coûteuse. On utilise comme antifongique le Flutanol. (29)

(d) Maladie du dépérissement des stries vasculaires

Historique : Cette maladie a été observée pour la première fois en 1960, en Papouasie-Nouvelle-Guinée. En effet, cette dernière a provoqué de lourdes pertes dans les plantations matures, puis s'est propagée. Elle a même amené certains producteurs à remplacer le cacao par des palmiers à huile, notamment en Malaisie. (29,49)

Localisation : On rencontre cette pathologie uniquement en Asie du Sud Est, mais elle y est sévère. (29,49)

Agent responsable : C'est une fois encore un basidiomycète *Ceratobasidium theobromae*.(29,44). Il s'attaque aux semis, aux jeunes pousses et aux formes matures.

Diffusion : Les sporophores se développent uniquement lorsque les feuilles de cacaoyer tombent, par temps humide. Ils ont une courte durée de vie et libèrent des basidiospores principalement la nuit et avec une humidité suffisante. Ces dernières sont dispersées uniquement par le vent et sur de courtes distances. Cette dispersion est limitée en cas d'humidité trop importante. (49)

Symptômes : Les symptômes de cette pathologie sont caractéristiques. Les basidiomycètes colonisent le xylème du cacaoyer, ce qui cause au bout d'environ trois mois une chlorose (décoloration) au niveau de la 2^{ème} ou 3^{ème} nervure en partant de l'extrémité distale de la feuille qui finira par tomber. Ce champignon peut se propager à l'intérieur des branches et du tronc, ce qui finit par causer la mort de l'arbre.

Durant la dernière décennie, cette maladie semble évoluer. En effet, on observe désormais des nécroses, et une durée plus longue avant que la feuille ne tombe. Ce phénomène favorise la remontée du champignon sur le pétiole et donc l'atteinte du reste de l'arbre. On peut observer les deux types de symptômes (chlorotiques et nécrotiques) sur le même arbre. (49)

Traitement et prévention :

Lutte culturale : Le temps d'incubation de cette maladie étant long (3 mois), il est important de garder en quarantaine les semis et nouvelles pousses (au moins 6 mois) avant de les planter dans la cacaoyère. La taille joue également un rôle important pour limiter la propagation.

On étudie également l'éventuelle adoption de génotypes résistants. (49)

Lutte chimique : les fongicides de la famille des triazoles semblent efficaces contre ce pathogène, mais ils sont généralement trop coûteux pour que les producteurs puissent les utiliser. (49)

(e) Autres pourritures

Il existe d'autres maladies causées par des champignons, moins connues car moins dévastatrices.

On peut notamment citer les pourritures noires à *Lasiodiplodia theobromae* ou à *Botryodiplodia theobromae* (ascomycètes). Elles provoquent respectivement des cabosses avec des lésions brunes et molles au toucher ou des cabosses présentant des taches de couleur brun foncé à noire, qui la recouvre rapidement et la transforme en masse charbonneuse. A l'heure actuelle, aucun traitement chimique n'est efficace contre ces pathologies. On utilise donc uniquement la lutte culturale à leur rencontre. (29,35)

Une autre maladie fongique touchant le cacao est une pourriture due à un basidiomycète : *Armillariella mellea* responsable du pourridié. On observe cette infection principalement dans les plantations où subsistent d'anciens arbres de la forêt. Malheureusement, les signes de cette maladie sont souvent trop tardifs, et l'arbre finit par mourir. On observe un dessèchement rapide de l'arbre, car les racines sont attaquées, puis l'apparition de craquelures et de fentes verticales au niveau de l'écorce. Aucun traitement chimique n'est possible, il faut donc procéder à une lutte culturale en arrachant soigneusement les arbres atteints, ainsi que leurs racines, les sortir de la plantation et les incinérer.

iii. Ravageurs animaux

Comme n'importe quel arbre, le cacaoyer peut lui aussi être la victime de ravageurs. Et ces derniers sont nombreux. On peut citer les principaux : les mirides, les foreurs de tige, et certaines chenilles défoliatrices.

(a) Les mirides

Historique : Les principales espèces de mirides du cacaoyer ont été découvertes en Afrique entre la fin du 19^{ème} et le début du 20^{ème} siècle. Les mirides font partie de la famille des *Miridae* (anciennement *Capsidae*), de l'ordre des *Hemiptera* et du sous-ordre des hétéroptères (ou vraies punaises). Depuis leur découverte, les populations de mirides se sont énormément répandues, devenant ainsi le ravageur le plus préjudiciable à la culture du cacaoyer. (40)

Espèces responsables et localisation : Selon la localisation, on observe différentes espèces de mirides responsables de l'attaque des plantations de cacaoyer. En Afrique de l'Ouest, on observe principalement deux espèces : *Distantiella theobroma* et *Sahlbergella singularis* ; plus rarement *Bryocoropsis laticollis* et *Odoniella reuteri*. En Asie du Sud Est, on rencontre des mirides du genre *Helopeltis*, qu'on trouve également en Afrique. En Amérique du Sud et Amérique Centrale on trouve des sujets du genre *Monalonion*. (40,41)

Description anatomique : De manière générale, les mirides sont de couleur marron ou grise, et de petite taille, avec une forme ovale.

Sahlbergella singularis : les adultes mesurent environ 1cm de large et ont une forme ovale, avec des petites protubérances sur le corps. Leurs antennes ainsi que leurs pattes sont longues et minces, leurs yeux proéminents. Elles peuvent voler sur 1 à 2 km, ce qui constitue le principal mécanisme de dispersion [Fig. 47].

Distantiella theobroma : elles ont une apparence très semblable à *Sahlbergella singularis*, mais les antennes et les pattes sont plus courtes et épaisses [Fig. 48].



Figure 47 : *Sahlbergella singularis*
BABIN R. ur-bioagresseurs-cirad.fr



Figure 48 : *Distantiella theobroma*
BABIN R. ur-bioagresseurs-cirad.fr

Symptômes : Les mirides s'alimentent aux dépens des cabosses et des rameaux de cacaoyer. Les dégâts occasionnés sont dus d'une part aux blessures causées par l'introduction des pièces buccales des mirides et d'autre part à la lyse des cellules dues aux enzymes contenues dans leur salive. On peut alors observer sur le cacaoyer des décolorations des feuilles (chloroses), une déformation des cabosses, des bourgeons et des jeunes rameaux. On peut également avoir des lésions très graves des tissus.

Elles infligent des piqûres aux rameaux qui provoquent des nécroses et entraînent une chute importante des feuilles. Pour finir, les blessures vont évoluer en chancres, qui vont fragiliser de manière irréversible les branches, entraînant une baisse importante de la productivité en quelques années. Ces mêmes chancres sont fréquemment envahis par des champignons, ce qui provoquera la mort de l'arbre. On observera également des taches noirâtres sur les cabosses ainsi qu'un dessèchement et une chute des chérelles ou encore des crevasses sur le bois.

Traitement et prévention :

Lutte culturale : Cette dernière semble essentielle, elle consiste dans la taille régulière des gourmands et le réglage de l'ombrage par une taille correcte de la couronne. En effet, l'ombrage est un facteur déterminant car les mirides ne se répartissent pas uniformément dans les plantations, et la formation des « poches à mirides » s'effectue sur les zones bénéficiant d'un ensoleillement maximal.

Il faut aussi procéder à une taille sanitaire des branches attaquées par les mirides, qui sont susceptibles de développer des chancres. On recommande également l'élimination des plantes hôtes alternatives des mirides. (35,40,50)

Lutte biologique : Il est possible d'utiliser deux espèces de fourmis dans la lutte contre les mirides du cacaoyer : *Dolichoderus thoracicus* (la grosse fourmi noire) et *Oecophylla smaragdina* (la fourmi tisserande).

Lutte chimique : Les insecticides actuellement recommandés dans la lutte contre les mirides sont l'Imidaclopride, Actellic/Talstar et Promecarb. On les utilise sous forme de spray à appliquer sur les feuilles, quatre fois par an. Une alternative propose d'appliquer des insecticides persistants à raison de deux applications par an sur les cacaoyers matures sous couvert fermé. Cette méthode utilisant moins de pesticides permet de laisser les ennemis naturels des mirides se développer et donc de fournir un environnement plus propice à la lutte biologique. (29)

(b) Les foreurs de cabosse

Historique : Les foreurs de cabosse ont été observés pour la première fois en 1841, et reconnus comme une menace sérieuse pour les plantations de cacao. Durant les années 1890 et 1900, il a causé de grosses pertes de production en Asie. Dans les années 2000, ce ravageur a affecté 60 000 hectares, provoquant une perte de 40 millions de dollars par an. (4,41)

Espèce responsable et localisation : Il s'agit d'un insecte appartenant à l'ordre des Lépidoptères (papillons) et à la famille des *Gracillariidae*. Décrit en 1904 par l'entomologiste néerlandais Pieter Cornelis SNELLEN, *Conopomorpha cramerella* est également appelé teigne javanaise du cacao, foreur de cabosse ou encore *Cocoa Pod Borer* en anglais. Il est originaire des régions tropicales, et on peut l'observer à l'heure actuelle dans le Sud-Est de l'Asie, notamment au Sri Lanka, en Papouasie-Nouvelle-Guinée ainsi qu'en Indonésie. (4,51)

Description anatomique et biologie : On peut observer sur la cabosse de cacao plusieurs stades de développement du foreur de cabosses. Tout d'abord, on peut y observer des œufs, qui sont visibles à l'œil nu. Ces derniers mesurent 0,2 à 0,5mm, de couleur jaune-orange. Ils sont déposés par la femelle durant la nuit à la surface de la cabosse, préférentiellement dans les sillons. Une femelle peut pondre de 50 à 100 œufs au cours de sa vie.

Six à neuf jours plus tard, on peut observer l'éclosion de ces œufs, d'où vont sortir les larves. Ces dernières sont blanchâtres, transparentes et mesurent environ 1mm de long. Elles creusent une galerie sur la paroi interne de la coque, jusqu'à atteindre l'intérieur de la cabosse pour pouvoir se nourrir. C'est en s'alimentant qu'elles creusent des trous, pouvant aller parfois jusqu'à atteindre les fèves. Les larves de dernier stade mesurent environ 10mm de long et ont une couleur crème. Le stade larvaire dure 14 à 18 jours, puis elles se déplacent pour ressortir de la cabosse. Elles se transforment ensuite en nymphes, mesurant 13 à 18mm de long pour 6 à 9mm de large. Ces dernières sont protégées par une légère membrane en soie, imperméable solidement fixée. On peut les observer sur des dépressions de cabosse ou encore sur des feuilles. Le stade de nymphe dure 6 à 8 jours [Fig. 49].

Les foreurs de cabosse adultes mesurent 7mm de long, pour une envergure de 12mm. Leur corps est de couleur brune. Elles présentent des taches jaunes claires au niveau des extrémités de leurs ailes. Elles sont munies de très longues antennes capables de se rétracter au repos. La durée de vie de la forme adulte est en moyenne d'une semaine, mais elle peut atteindre 30 jours. Le cycle de vie complet de *Conopomorpha cramerella* dure donc en moyenne un mois. (41,51)



Figure 49 : Nymphe de foreur de cabosse protégée par un membrane de soie
PRIOR C.

Symptômes : Le foreur de cabosses attaque aussi bien les formes jeunes que les formes matures des cabosses. Les symptômes sont dus aux larves qui, comme nous venons de le voir, se nourrissent des cabosses. Cela perturbe leur croissance, entraînant notamment un mûrissement prématuré. Plus la cabosse infectée est jeune, plus l'impact est important. En effet, les graines seront plus gravement touchées, que ce soit en qualité comme en quantité. On observera des graines trop plates et trop petites, prenant en masse, ce qui les rend inutilisables. (4,41,51)

Traitement et prévention : Des études ont prouvé que la perte économique due aux foreurs de cabosses dépend du pourcentage d'infestation de la cacaoyère. En deçà d'un certain seuil, la perte peut être considérée comme minime. Il n'est donc pas nécessaire d'exterminer la totalité de la population de ce ravageur, mais d'en contrôler la présence. (51)

Lutte culturale : Plusieurs méthodes de lutte culturale peuvent être utilisées contre les foreurs des cabosses. La plus simple consiste en une récolte systématique et régulière des cabosses mûres ou endommagées. Cela permet de limiter l'infestation par les foreurs de cabosses, car il y a moins de possibilité pour la femelle de pondre ses œufs. Il est également recommandé d'enterrer les cabosses pourries et les restes de récoltes. De plus, une taille régulière des cacaoyers, afin qu'ils ne dépassent pas une hauteur de 4m représente une autre méthode de lutte efficace.

On observe dans certaines plantations une méthode consistant à envelopper les cabosses dans des sachets en plastiques afin de prévenir la ponte des œufs. Il faut pour cela placer l'enrobage en plastique lorsque la cabosse mesure 7 à 8cm de long, et le laisser en place durant toute la période de maturation. Avec cette méthode il faut veiller à avoir une ventilation suffisante, sinon on peut observer l'apparition de pourritures. De plus elle exige beaucoup de travail, ce qui la rend plutôt coûteuse.

Lutte biologique : Les foreurs de cabosses possèdent des ennemis naturels, qui peuvent être utilisés pour réduire leur population. On trouve parmi ces derniers deux fourmis : *Dolichoderus thoracicus* et *Oecophylla smaragdina* (la fourmi tisserande), qui sont deux espèces naturellement présente dans les zones infestées. Les foreurs de cabosses semblent également être sensibles au champignon *Beauveria bassiana*, une espèce de champignon déjà bien connue pour la lutte biologique. Ce dernier est capable d'infecter les larves et les nymphes, provoquant une mortalité de 100%. La dernière possibilité de lutte biologique est l'utilisation de pièges contenant des phéromones synthétiques de femelles foreurs de tiges. Cette méthode n'est efficace que s'il y a suffisamment de mâles sur place et capturés, ce qui permet d'interrompre le cycle de reproduction. (41,51)

Lutte chimique : L'utilisation de quantité relativement faible de pyréthroïdes ou de carbamates appliqués sur la face inférieures des branches permet de maintenir les populations de foreurs de cabosses en deçà du seuil de dommages économiques. C'est une méthode peu utilisée en raison de son coût élevé. (29,41)

(c) Autres ravageurs du cacao

De nombreux autres insectes ravageurs du cacao sont connus, mais leur impact économique est bien moindre que les deux précédents.

On peut citer parmi eux les foreurs de tiges (*Eulophonotus myrmeleon*), un lépidoptère (papillon) présent dans toutes les régions tropicales d'Afrique. Les larves de ce dernier causent des dégâts en perçant des orifices dans les branches et le tronc, provoquant un dessèchement des feuilles, des rameaux et des tiges, entraînant un vieillissement prématuré des cacaoyers, puis leur mort. (35,52)

Les psylles du cacao (*Mesohomotoma tessmani*) sont des insectes de l'ordre des *Hemiptera*, observés en Afrique. La femelle implante ses œufs dans les bourgeons terminaux de jeunes pousses. Elle insère dans un bourgeon plus de 200 œufs. Une fois que les œufs ont éclos, on peut observer les larves sur les jeunes pousses et les fleurs, sous forme de petits flocons blancs localisés sur les extrémités des jeunes pousses et les coussinets floraux. Cela entraîne un retard de croissance du rameau, une chute des très jeunes feuilles. Dans les attaques les plus importantes la défoliation atteint aussi les extrémités des rameaux, et on peut observer un dépérissement. On les retrouve beaucoup dans les jeunes plantations. (35,53)

Les thrips du cacao ou thrips à bande rouge (*Selenothrips rubrocinctus*) sont des insectes appartenant à l'ordre des *Thysanoptera* et la famille des *Thripidae*. On peut retrouver ce ravageur dans toutes les zones tropicales de la planète. Les adultes et les larves piquent les feuilles, ce qui provoque l'apparition de tâches brunâtres. Lors de fortes attaques, on peut observer une défoliation totale. On les retrouve surtout en période de stress hydrique. (35)

Les chenilles défoliatrices, comme leur nom l'indique, rongent et déchiquètent les feuilles. On a observé une attaque particulièrement conséquente en 2016 en Côte d'Ivoire de l'espèce *Achaea caocaloides* Guénée. Elle avait déjà été observée dans d'autres pays d'Afrique auparavant (la première fois en Ouganda en 1931, au Sierra Leone en 1936, au Ghana en 1980...), C'est une chenille mince, de couleur gris-cendre avec une tête brune à rougeâtre. On peut observer des lignes sombres sur son dos. Le stade chenille dure 20 à 22 jours, elle atteint alors une taille de 4 à 5cm de long avant de se transformer en chrysalide. Cette dernière peut consommer une feuille entière de cacaoyer en 12 heures. Elle s'attaque aussi aux fruits et aux fleurs. On peut

aussi l'observer sur d'autres plantes de culture comme le caféier, le bananier ou le maïs. (35,54)

iv. Lutte

La première lutte à mettre en place est la lutte culturale. Pour cela, il suffit de respecter de bonnes règles d'entretien de la cacaoyère. En effet, une bonne aération de cette dernière est essentielle, ainsi qu'un bon drainage des sols pour éviter toute stagnation d'humidité, afin de limiter le développement et la propagation des pathogènes. (41)

Pendant longtemps on a utilisé les pesticides chimiques contre ces maladies, car cela semblait être la meilleure solution. Malheureusement, c'est loin d'être le cas. D'une part, leur coût est souvent trop élevé pour les petits producteurs, et leur méthode d'utilisation n'est pas toujours connue par ces derniers. C'est une des raisons pour lesquelles la lutte chimique n'est pas toujours efficace. Et on ne peut oublier les risques que présentent ce type de produits pour l'environnement, bien que la législation dans les principaux pays producteurs ne soit pas encore très développée à ce sujet. La législation européenne en revanche contrôle la quantité de pesticides résiduels sur les fèves de cacao. (29)

Une solution d'avenir semble être la recherche de variétés résistantes à ces maladies et ravageurs. Quelques-unes ont déjà été découvertes par le CIRAD, mais elles ne sont pas encore utilisées pour la culture. De plus, un problème de résistance pourra apparaître avec le temps car les pathogènes peuvent muter à leur tour. (16,41)

c) Contrôle des pesticides

Depuis le 1^{er} septembre 2008, l'union européenne a décidé de surveiller les traces de certains pesticides dans le cacao. Toutes les données concernant le niveau maximal de résidus de pesticides autorisés sur les fèves de cacao sont disponibles sur le site de la commission européenne. Dans le tableau suivant [Tableau 3] j'ai listé les pesticides les plus fréquemment utilisés dans la culture du cacaoyer sont cités : (55)

Tableau 3 : Concentrations maximales de résidus de pesticides autorisées
MARNIER Virginie

Pesticide	Niveau maximal de résidus (mg/kg de fèves)
Metalaxyl	0,1
Cuivre	50
Imidaclopride	0,05
Lambda-cyhalothrine	0,01
Thiamethoxam	0,02

III. Transformation du cacao par l'homme

1. Chez le producteur

a) Écabossage

Pour cette étape, on est toujours chez le producteur de cacao, juste après la récolte. Une fois que les fruits sont récoltés en quantité suffisante, il est temps d'en extraire les graines. L'écabossage constitue un véritable événement social dans les pays producteurs de cacao, car tout le monde se réunit autour du tas de cabosses. Mais malgré tout, c'est un travail qui nécessite de l'expérience, car il faut faire attention à ne pas abîmer les graines en ouvrant la cabosse. En effet, une graine endommagée est plus exposée aux risques de moisissure et donc à la formation de mycotoxines.(4,5)

Pour ouvrir le fruit, deux types d'outils sont utilisés : une machette pour fendre en quelques coups la cabosse ou un gourdin pour l'éclater. Une fois la cabosse ouverte, il faut séparer les graines du rachis sur lequel elles sont attachées, puis trier les bonnes graines des mauvaises (graines noires). On peut parfois observer l'utilisation d'une grille de Divo, qui est une sorte de tamis permettant de séparer les graines saines des graines noires, des morceaux de rachis, des débris de cortex et des agglomérats de graines immatures. (5,56)

La plupart du temps les graines, encore entourées de leur mucilage, partiront ensuite à la fermentation [Fig. 50 et 51]. Mais certains planteurs vendent les graines juste après l'écabossage, c'est ce qu'on appelle le « cacao gomma » ou « cacao en baba » (5)



Figure 50 : Cabosse saine ouverte
CILAS C. ur-bioagresseurs-cirad.fr



Figure 51 : fèves encore entourées du
mucilage
BABIN R. ur-bioagresseurs-cirad.fr

b) Fermentation

Tout d'abord, qu'est-ce que la fermentation ? Selon le dictionnaire Larousse, la fermentation est la transformation que subissent certaines matières organiques sous l'action d'enzymes secrétées par des micro-organismes. (57)

C'est un processus biologique spontané qui va constituer une des étapes essentielles de la fabrication du chocolat, en ayant trois principaux effets : liquéfier la pulpe mucilagineuse entourant les fèves ; empêcher la germination des graines ; développer les premiers caractères organoleptiques du futur chocolat par le biais de nombreuses réactions biochimiques. (5)

Une question peut se poser : comment des micro-organismes peuvent intervenir alors que l'intérieur d'une cabosse est supposé être stérile ? La réponse est simple : on a une inoculation de ces micro-organismes via les outils utilisés pour ouvrir les cabosses et pour la fermentation (bâches, caisses, feuilles de bananier), l'air ou encore les mains des travailleurs. (5)

Nous allons étudier dans cette partie le point de vue de l'homme, à savoir les méthodes utilisées par ce dernier afin de réaliser la meilleure fermentation possible. Et nous verrons ensuite ce qui se passe du point de vue microscopique, c'est-à-dire les multiples transformations biochimiques réalisées par les différents microorganismes responsables de la fermentation.

i. Méthodes

Plusieurs méthodes de fermentation existent. La plus simple à mettre en œuvre et la plus utilisée par les petits producteurs consiste à placer les graines en tas recouverts de feuilles de bananier ou de bâches en plastique, afin de les protéger des insectes et de conserver la chaleur qui sera produite par les réactions chimiques [Fig. 52]. C'est un système peu coûteux, mais qui présente un problème : afin que la fermentation soit bien uniforme, il est recommandé de brasser les graines toutes les 24 à 48h pour favoriser le contact des fèves avec l'air et le développement des micro-organismes. En effet, lorsque les fèves sont placées en tas, on y observe au bout de quarante-huit heures trois zones présentant des avancements de fermentation différents. La zone externe, où les graines sont le plus en contact avec l'air et où la fermentation est la plus rapide et donc presque terminée avec la pulpe entièrement liquéfiée ; la zone intermédiaire où la fermentation a commencé et pour finir la zone

interne où les graines sont très peu en contact avec l'air et sont dans le même état qu'après l'écabossage, encore entourées de leur mucilage. (56)



Figure 52 : Fermentation des fèves de cacao en tas
N'DA F. [pinterest.com](https://www.pinterest.com)

Le brassage étant un travail très difficile et fastidieux, il n'est pas toujours réalisé correctement, voire parfois pas du tout. C'est pourquoi d'autres systèmes de fermentation se sont mis en place. On peut notamment observer des plateaux, empilés les uns sur les autres, avec lesquels le brassage n'est plus nécessaire, car les graines sont suffisamment en contact avec l'air et la fermentation uniforme.

Un autre système utilisé est celui des boîtes de fermentation. Après l'écabossage, on place les graines dans une première boîte. Au bout de quelques jours, on fait passer les graines dans une deuxième boîte, et ainsi de suite [Fig. 53]. Ce système favorise la mise en contact avec l'air grâce au mouvement des graines. Le nombre de boîtes est variable, selon les producteurs. Mais certains problèmes apparaissent également avec ce système, car la température et l'oxygénation ne sont pas uniformes au sein d'une même boîte, notamment dans les coins ou au niveau des trous d'aération. (56)

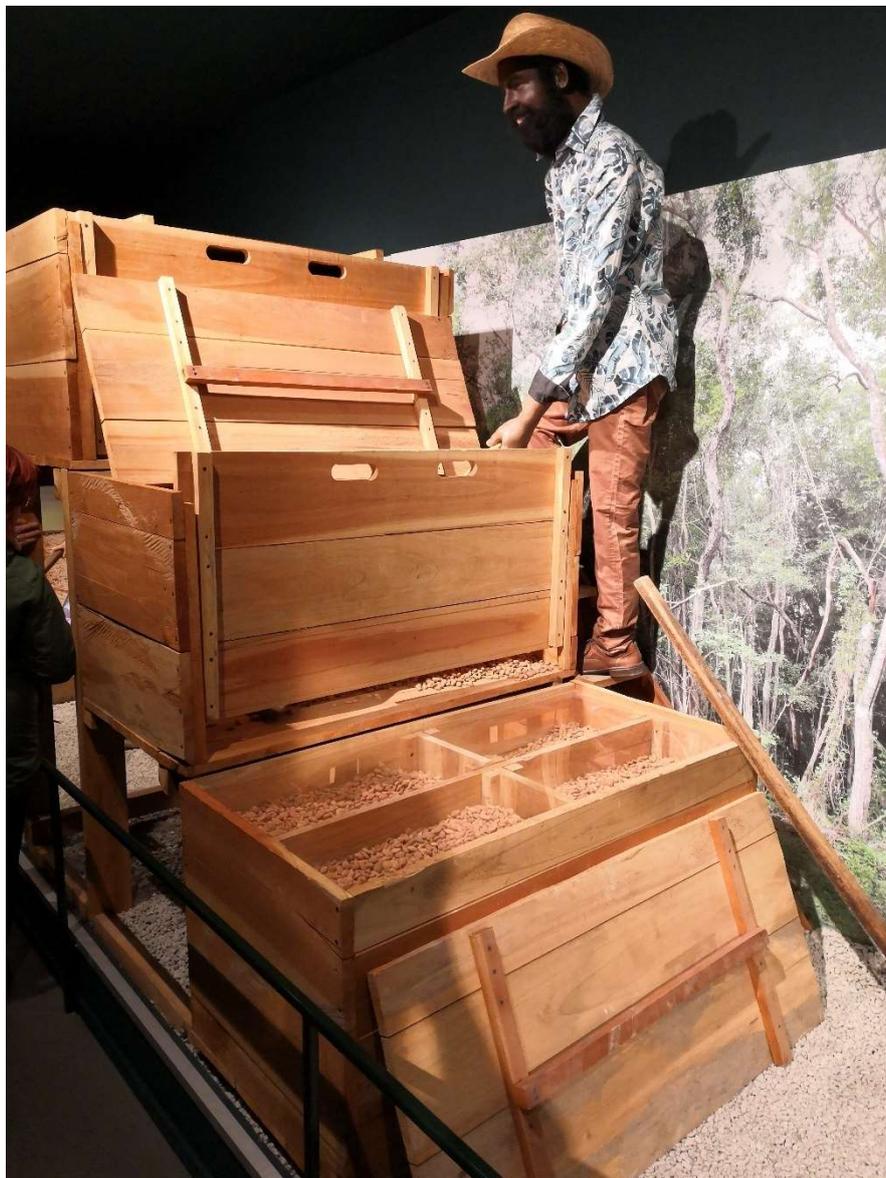


Figure 53 : Fermentation du cacao en boîtes
MARNIER V. Musée du chocolat de Bruxelles - 2019

Nous venons de voir l'aspect macroscopique de la fermentation, mais que se passe-t-il du point de vue microscopique ? Il faut savoir que la fermentation du cacao est divisée en deux phases : la première est une fermentation alcoolique anaérobie suivie d'une fermentation acétique aérobie.

ii. La fermentation alcoolique anaérobie

Au départ de la fermentation, les fèves sont encore entourées de leur mucilage. Ce dernier possède une forte concentration en sucre, de 10 à 15%, et un pH bas (entre 3 et 4) dû à une forte concentration en acide citrique (de 1 à 3%). De plus, le mucilage forme une sorte de ciment autour des graines empêchant l'air de pénétrer. Ce sont toutes ces conditions réunies qui vont favoriser le développement de levures, dont la quantité va augmenter de manière importante durant les 24 à 36 premières heures de fermentation, puis diminuer progressivement avec le changement des conditions. (56)

Les levures vont transformer les sucres du mucilage en alcool éthylique. Cette transformation est un processus légèrement exothermique (production de 93,3kJ/mol). On observe donc une augmentation de la température jusqu'à 35°C. Elles sont également responsables de l'assimilation de l'acide citrique présent, ce qui entraîne une augmentation du pH jusqu'à environ 4,5. Il faut être prudent car cette augmentation de pH favorise le développement des bactéries lactiques, qui comme leur nom l'indique, vont transformer les sucres en acide lactique. L'apparition de ces bactéries n'est pas souhaitable car l'acide lactique qu'elles produisent donne un goût désagréable au cacao.

Les levures secrètent également des enzymes pectinolytiques permettant la destruction de la pulpe, qui va s'écouler sous forme de jus. Cette lyse du mucilage permettra le passage de l'air entre les graines, et favorisera le développement de bactéries aérobies : les bactéries acétiques, qui interviendront dans la 2ème phase de fermentation. (56,58,59)

iii. La fermentation acétique aérobie

C'est au bout d'un ou deux jours que les bactéries acétiques vont faire leur apparition, grâce aux conditions créées par les levures, à savoir le passage de l'air, la présence d'alcool et un pH plus élevé. Ces dernières vont être responsables de la fermentation dite acétique aérobie.

Sous l'action de ces bactéries, l'alcool est oxydé en acide acétique. C'est une réaction très exothermique qui entraîne la libération de 490kilojoules pour chaque molécule d'alcool transformée. Au cours de cette étape, la température peut monter jusqu'à 50°C. La courbe de température est à l'image de la production d'acide acétique

et permet donc de suivre la fermentation. Le contrôle par la température est un moyen coûteux à mettre en œuvre et donc peu présent dans les pays producteurs.

L'acide acétique va pénétrer la graine de cacao à travers la coque, jusque dans les cotylédons où se trouvent les substances de réserve alimentant la germination. La graine de cacao est grasse, avec environ 50% de lipides. Ainsi, dans les vacuoles des cellules des cotylédons, les différents composés hydrosolubles sont isolés les uns des autres par des lipides qui forment un film les empêchant d'interagir entre eux. Ces lipides, avec l'acidification des cellules, passent d'une forme de film à une forme de globules libérant ainsi les composés hydrosolubles. A ce moment, les enzymes peuvent entrer en contact avec leurs substrats et donner lieu à de multiples réactions biochimiques. Principalement, on va observer un morcellement des grosses molécules de réserve : les protéines sont transformées en acides aminés et peptides ; les sucres complexes sont réduits en sucres simples ; les polyphénols sont rendus inactifs (ce qui les empêchera au moment de la torréfaction d'inhiber la réaction de Maillard). Les composés ainsi formés sont appelés « précurseurs de l'arôme », et entreront en réaction au moment de la torréfaction. Les méthylxanthines quant à elles vont diffuser des cotylédons vers la coque de la fève.

On peut noter un autre effet de l'acide acétique : il dégrade les parois cellulaires, ce qui tue le germe. (5,56,58,59)

iv. Durée de la fermentation

La durée de la fermentation varie en fonction de la variété, mais également des pratiques du producteur. On peut définir en moyenne les durées suivantes :

- 3 jours pour les *Criollo*
- 3 à 5 jours pour *Trinitario*
- 5 à 8 jours pour les *Forastero*

Pour stopper la fermentation, le producteur se base sur plusieurs choses : l'odeur qui se dégage de l'amas de graine, l'aspect extérieur et intérieur des graines ainsi que la température. Il faut que ce dernier reste prudent, car le refroidissement qui suit la fin de la fermentation, s'il est trop brusque, peut entraîner l'apparition de moisissures pouvant produire des mycotoxines.

Il ne faut pas oublier que la fermentation est une étape essentielle pour les futurs caractères organoleptiques du chocolat. Si elle est mal menée, on peut observer plusieurs types de défauts physiques sur les fèves :

- Fèves ardoisées, qui n'auront pas d'arôme, et présenteront une forte amertume et une forte astringence
- Fèves violettes, qui auront peu d'arôme et présenteront un peu d'amertume et d'astringence
- Fèves pourries, qui auront un goût putride

A la fin de la fermentation, lorsqu'on découpe une graine elle est encore violette. C'est après le séchage que l'on pourra vraiment déterminer si la fermentation a bien été menée, en découpant la fève. (5)

c) Séchage

Une fois la fermentation terminée, il est temps de sécher les fèves.

Quels sont les intérêts du séchage ? Tout d'abord, en abaissant le taux d'humidité des graines (il passe de 60% avant le séchage à 7% après), on stoppe les réactions de fermentation et on favorise les réactions d'oxydation des polyphénols, ce qui permet une meilleure conservation des fèves. De plus, il augmente la teneur en pyrazines et autres molécules aromatiques tels que les aldéhydes, les cétones et les furannes. (5,19,59)

Cette opération simple en apparence se trouve être délicate car, rappelons-le, les pays producteurs ont pour la plupart un climat tropical humide.

On se dit alors qu'idéalement, les fèves doivent sécher le plus vite possible, afin d'éviter le développement des moisissures qui peuvent donner un goût désagréable, ou pire, sécréter des mycotoxines. Mais là encore, une subtilité se présente. En effet, nous avons vu précédemment que la fermentation entraîne une production d'acide acétique qui pénètre la graine. Bien que ce dernier soit utile pour tuer le germe et produire les précurseurs de l'arôme du chocolat, il ne présente pas spécialement de qualité gustative, car il donne un goût de vinaigre. On souhaite donc l'éliminer. Or, ce dernier est évaporé avec l'eau et a besoin de périodes de repos pour pouvoir diffuser entre les différentes couches de la graine. Si le séchage est trop

rapide, l'aide acétique restera prisonnier de cette dernière, ce qui lui donnera une acidité excessive et un goût désagréable.

De plus, la qualité du séchage va aussi dépendre de la qualité de la fermentation. En effet, si la pulpe n'a pas été totalement détruite elle va former une croûte autour de la graine, ce qui ralentira considérablement l'élimination de l'eau et de l'acide acétique. Il arrive parfois que certains producteurs rajoutent une étape de lavage des fèves entre la fermentation et le séchage, afin de supprimer les résidus de pulpe. Cette pratique donne des fèves de très bel aspect, lisses et propres, mais qui sont plus fragiles et plus légères. (5,9,19,56)

i. Le séchage solaire

Le séchage au soleil est la méthode la plus répandue dans les petites exploitations de cacao, la plus simple et la moins coûteuse. Elle consiste à étaler les fèves en couches de 3 à 4 cm sur des aires cimentées, des bâches ou des nattes, il faut donc pouvoir disposer de surfaces importantes (1m² pour 20kg de fèves) [Fig. 54]. Ce procédé permet d'avoir des périodes de repos ce qui laisse le temps à l'acide acétique de diffuser entre les couches de la graine. Il permet également durant les premiers jours la poursuite des réactions biochimiques qui ont débuté pendant la fermentation. Avec le séchage solaire on obtient des cacaos de bonne qualité gustative avec une faible acidité résiduelle.

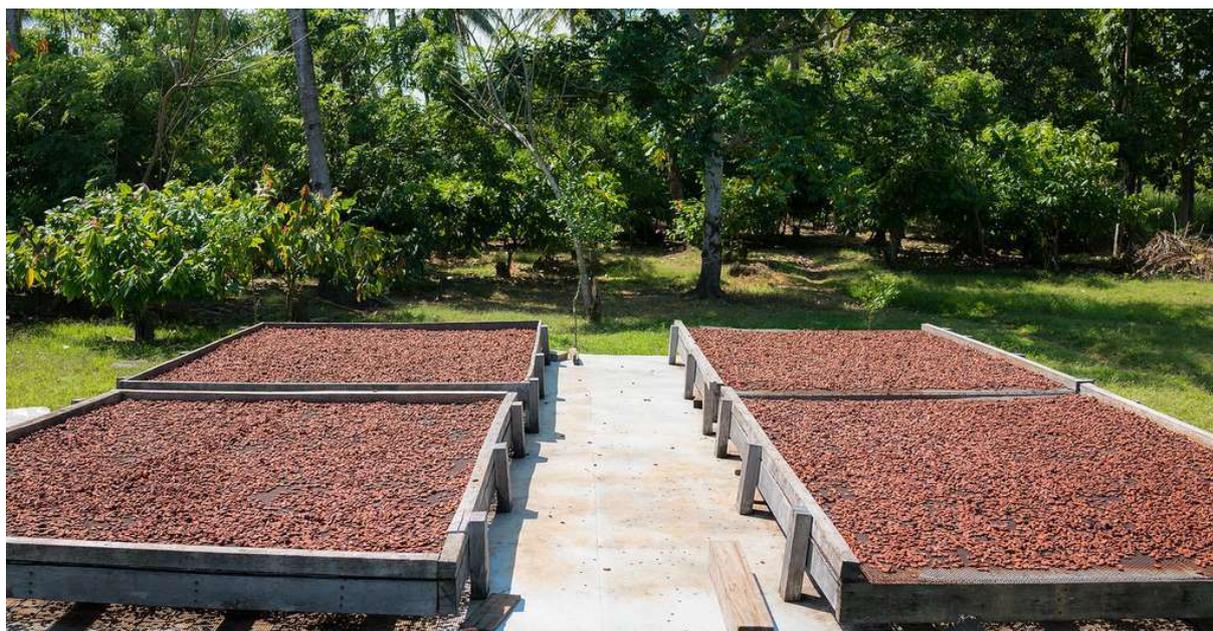


Figure 54 : Séchage des fèves au soleil
BRAYDEN H. futura.sciences.com

C'est aussi une méthode contraignante, nécessitant beaucoup de main d'œuvre. Pour que le séchage soit bien homogène, le producteur doit brasser très fréquemment à l'aide de râteaux en bois : toutes les heures au début du séchage puis 4 fois par jour. Il faut impérativement pouvoir couvrir les fèves la nuit ou en cas de pluie. De plus c'est un processus lent, qui dure de 7 à 15 jours. (5,9,19,20)

ii. Le séchage artificiel

Cette méthode est utilisée lorsque les quantités de fèves sont trop importantes pour des surfaces de séchage insuffisantes, ou encore lorsque la récolte a lieu pendant une période trop humide. Elle peut venir en remplacement ou en complément du séchage solaire. On est ici sur un procédé consistant à utiliser des séchoirs artificiels à air chaud. Les fèves sont placées en couche épaisse (de 30 à 50cm) sur une tôle perforée sur laquelle un ventilateur vient souffler de l'air chaud. Ce sont des systèmes mécaniques qui assurent le brassage régulier des fèves.

Cette méthode présente plusieurs avantages : elle permet de réduire significativement le temps de séchage, puisqu'elle ne prend qu'un à deux jours. On limite donc le risque d'apparition de moisissure. Le producteur réalise une économie de main d'œuvre et de surface. Le produit obtenu est très homogène. Son principal défaut est qu'elle diminue la qualité gustative du produit, car il n'y a pas de temps de repos et on trouvera donc plus d'acide acétique dans le produit final.

Une fois le séchage terminé, on peut vérifier si la fermentation est de bonne qualité. En effet, à la découpe les graines qui ont bien fermenté sont devenues marron, alors que celles qui ont eu une fermentation insuffisante resteront violettes.

C'est après cette étape de séchage que les graines de cacao prennent une couleur brune et deviennent des « fèves » de cacao, constituant le cacao marchand, vendu aux chocolatiers, qui s'occuperont de la suite du processus de fabrication du chocolat. Mais avant la vente, une autre étape reste critique pour la qualité des fèves : le stockage. (5,9,19)

d) Le stockage

Certains producteurs ne voient dans le stockage que l'action d'entreposer du cacao, plus ou moins longtemps. Il faut cependant tenir compte de ce que peut subir le produit au cours de son stockage : les reprises d'humidité sont responsables, comme lors du séchage, de l'apparition de fèves moisies. Les moisissures alors développées peuvent être responsables de l'hydrolyse de la matière grasse, ce qui donnera un beurre de cacao acide, de texture granuleuse et de mauvaise qualité.

Un autre défaut lié au stockage est l'infestation par les insectes, favorisé par le ramollissement des fèves dû aux reprises d'humidité, qui conduit aux fèves mitées. Outre la perte de poids générée par leur action, les trous de pénétration sont autant de portes ouvertes aux moisissures internes. De plus, de par sa richesse en matières grasses, le cacao va fixer toutes les odeurs étrangères qui passent à sa portée : fumée, odeurs de cuisine, de gasoil, d'engrais... De même la qualité des sacs utilisés pour le stockage a son importance, car ils peuvent eux aussi donner des goûts indésirables au produit final [Fig. 55].

On voit donc le stockage du cacao en zone de production n'est pas aisé, le climat n'y étant pas favorable. Celui-ci s'effectue soit dans de vastes silos, soit dans des entrepôts où les fèves restent sur des palettes dans leurs sacs d'origine. Les locaux font l'objet d'un contrôle sévère et permanent en termes d'hygiène, de température et de degré d'hygrométrie (ils doivent être secs et frais : 16°C environ).

Les fèves seront ensuite vendues aux négociants puis embarquées pour l'exportation sur des bateaux dans ces sacs ou en conteneurs aérés pour éviter les effets de la condensation. La suite des opérations est réalisée par les fabricants de chocolat. (5,19,22)



Figure 55 : Stockage des fèves dans des sacs de jute
lanouvellerepublique.fr

2. Contrôle qualité

Pour acheter les fèves de cacao, le négociant a besoin d'en connaître la qualité, afin de le revendre ensuite à l'industriel qui le transformera en chocolat. Les différents contrôles qualité que ce dernier réalisera sur les fèves lui permettront d'en définir la valeur marchande.

a) Le taux d'humidité

Ce premier contrôle est capital, car l'acheteur ne tient pas à payer trop d'eau lorsqu'il achète ses fèves, et de plus un taux d'humidité excessive, on ne le dira jamais assez, entraîne un risque de développement de moisissures. Certains contrats prévoient des limites de d'humidité à ne pas dépasser, généralement fixé de 7 à 8,5%.

Plusieurs méthodes permettent d'estimer la quantité d'eau restante dans les fèves. Tout d'abord, par un contrôle via le toucher et l'ouïe : en effet, en remuant les fèves, selon le taux d'humidité le son produit sera plus ou moins sourd ou clair. Bien que ce soit une méthode rudimentaire, elle a fait ses preuves et elle reste un très bon moyen de d'estimer efficacement le taux d'humidité dans les fèves.

Il existe cependant un moyen plus technologique, via un appareil électrique nommé Aquaboy®. Ce dernier est constitué de deux électrodes parallèles, que l'on vient piquer dans les sacs de fèves. L'appareil va déterminer une capacité électrique, elle-même fonction du taux d'humidité présent entre ces électrodes.

Ces tests présentent malgré tous leurs limites, car ils permettent de déterminer le taux d'humidité au moment de l'achat, mais ils ne permettent pas de déterminer ce qu'il s'est passé pendant le stockage. En effet, comme nous l'avons vu dans la partie précédente, certains producteurs sèchent les fèves avant la vente, afin d'être dans les normes. Ainsi, le mal peut déjà avoir été fait, sans être connu par l'acheteur qui ne constatera les dégâts qu'au moment de l'analyse du beurre de cacao. (19)

b) Le test à la coupe

C'est le deuxième test que l'on peut pratiquer avec de faibles moyens analytiques. Il suffit en effet de posséder une balance et un canif.

Traditionnellement on détermine le grainage, c'est-à-dire le nombre de fèves nécessaires pour obtenir 100g. Ce dernier est fixé en moyenne à 120. Il présente plusieurs intérêts : connaître le poids moyen des fèves mais également en connaître l'origine. En effet, certains producteurs obtiennent des fèves de tailles différentes, selon le moment de la récolte, et le grainage permet donc à l'acheteur d'avoir une idée plus précise à ce sujet.

La détermination du grainage se pratique généralement sur 300g. Une fois cette mesure effectuée, on reprend les 100 ou 300 premières fèves qui ont été testées, sans les choisir, et on les coupe dans le sens de la longueur. Les deux moitiés ainsi obtenues sont disposées côte à côte afin que l'acheteur puisse en examiner les faces internes.

On considérera les fèves défectueuses dans les cas suivants : présence de moisissures, marques d'attaque par des insectes ; fèves plate, germées, ardoisées ou violettes. L'observation des fèves ardoisée ou violettes permet de déterminer la qualité de la fermentation. (19)

c) Examen organoleptique

Pour cet examen, on récupère les fèves préalablement coupées dans le sens de la longueur (en éliminant les fèves défectueuses). Ces dernières sont frictionnées vigoureusement entre les paumes de la main, afin d'être chauffées et broyées légèrement. Cela permet d'apprécier l'arôme qui s'en dégage, ce qui renseigne sur les arômes formés pendant la fermentation et met en évidence des goûts ou odeurs étrangers indésirables. (19)

d) Qualité de la matière grasse

Ce test n'est jamais réalisé sur le lieu de ramassage, mais par le transformateur (contrairement aux trois précédents tests que l'on vient de voir, qui sont réalisés par les négociants, souvent directement auprès des producteurs).

Cet examen est primordial, car le beurre de cacao est la partie vivante du chocolat. En effet c'est lui qui change d'état pendant la fabrication (moulage, enrobage) puis pendant la consommation (fusion dans la bouche) du chocolat. Ses caractéristiques de fusion et de cristallisation sont donc primordiales.

C'est l'acidité du beurre de cacao va conditionner ses qualités intrinsèques. L'apparition d'acides gras libres mène à une modification des caractéristiques de solidification. En effet ces derniers vont retarder la cristallisation principale, et surtout ralentir sa vitesse une fois celle-ci déclenchée. L'acidité des matières grasses ne se développe nettement que lorsque des lipases y sont présentes. Ces lipases sont secrétées par des moisissures, qui se développent en raison d'un mauvais séchage ou d'un mauvais stockage.

Une directive communautaire définit le beurre de cacao comme « la matière grasse obtenue à partir des fèves de cacao et qui présente une acidité oléique inférieure ou égale à 1,75% ». Au-delà, on ne parle plus de beurre de cacao mais de « graisse de cacao », interdite dans la fabrication de chocolat. (19)

3. Chez le chocolatier

a) La torréfaction

La torréfaction est une opération qui consiste à traiter par la chaleur, et au contact de l'air, certains produits alimentaires pour les déshydrater, développer certaines qualités aromatiques et faire apparaître la couleur brune. (60)

Avant toute chose, les fèves sont nettoyées, car elles arrivent à la chocolaterie dans l'état dans lequel elles ont quitté les plantations des pays producteurs. Elles subissent un tamisage permettant de retirer les petits cailloux, branchettes et autres impuretés qui pourraient être présentes avec ces dernières. Elles seront ensuite classées par catégories de taille homogène : c'est le calibrage. Une fois ces deux étapes faites, on passe à la torréfaction.

Avec la fermentation, la torréfaction constitue une étape essentielle de la fabrication du chocolat. Elle va avoir plusieurs rôles : abaisser la teneur en eau des fèves (on passe de 7% à 2,5%) tout en continuant d'éliminer l'acide acétique ; évaporer les composés volatils responsables de certaines odeurs et arômes

désagréables ; réduire la population bactérienne ; favoriser la séparation entre la coque et l'amande et surtout provoquer les réactions thermiques responsables de l'arôme chocolat, mais aussi de la couleur brune de ce dernier.

Plusieurs appareils peuvent être utilisés : appareils à tambour (les mêmes utilisés pour la torréfaction du café) ou bien des systèmes en continu sous air chaud pulsé. Chaque fabricant de chocolat possède ses propres procédés et recettes, qui vont dépendre de l'origine et variété des fèves, de leur teneur en eau et de leur taille, mais surtout du chocolat que l'on veut produire et de l'arôme final que le chocolatier veut obtenir. On peut tout de même définir des généralités. La température de la torréfaction peut varier entre 120 et 140°C, et elle peut durer de 15 à 40 minutes. C'est ce couple température-durée qui définira les principales caractéristiques gustatives du chocolat. (5,19,56,59)

On observe majoritairement des réactions type « réaction de Maillard » également appelé réaction de brunissement non enzymatique. On rassemble sous ce nom l'ensemble des réactions découlant du chauffage d'un composé carbonyle (aldéhyde ou cétone) en présence d'un composé aminé (acide aminé, peptide ou protéine).

Dans un premier temps, le groupe carbonyle du sucre réagit avec le groupement amine de l'acide aminé, produisant des glycosamines et de l'eau. Ces dernières vont subir une réaction appelée réarrangement d'Amadori, pour former des imines.

A partir de ce moment, trois types de réactions sont possibles. Une scission des molécules, formant des petites molécules carbonylées (pyruvaldéhyde, hydroxyactéone...). Une déshydratation forte, entraînant la perte de 3 molécules d'eau et donnant des molécules comme le furfural ou le dihydrofurfural. Cette dernière est favorisée dans les milieux acides. Dans les milieux neutres ou légèrement alcalins, on assiste plutôt à une déshydratation modérée, avec la perte de deux molécules d'eau, donnant des réductones qui pourront elle-même réagir avec des acides aminés pour donner des aldéhydes et des alpha-aminocétones via la dégradation de Strecker, ou des composés alpha-dicarbonylés et des carbonyle-alpha-hydroxylés, via une rétroaldolisation.

On peut ensuite assister à trois types de réactions différentes de scission, condensation et polymérisation. Ces réactions finales donnent des produits volatils, odorants et de couleur brune (due à des mélanoidines). On peut citer parmi ces produits finaux les pyrazines, également responsables de l'arôme, bien que ces dernières soient retrouvées en quantité infime car la majeure partie est transformée en gaz carbonique. [Fig. 56]

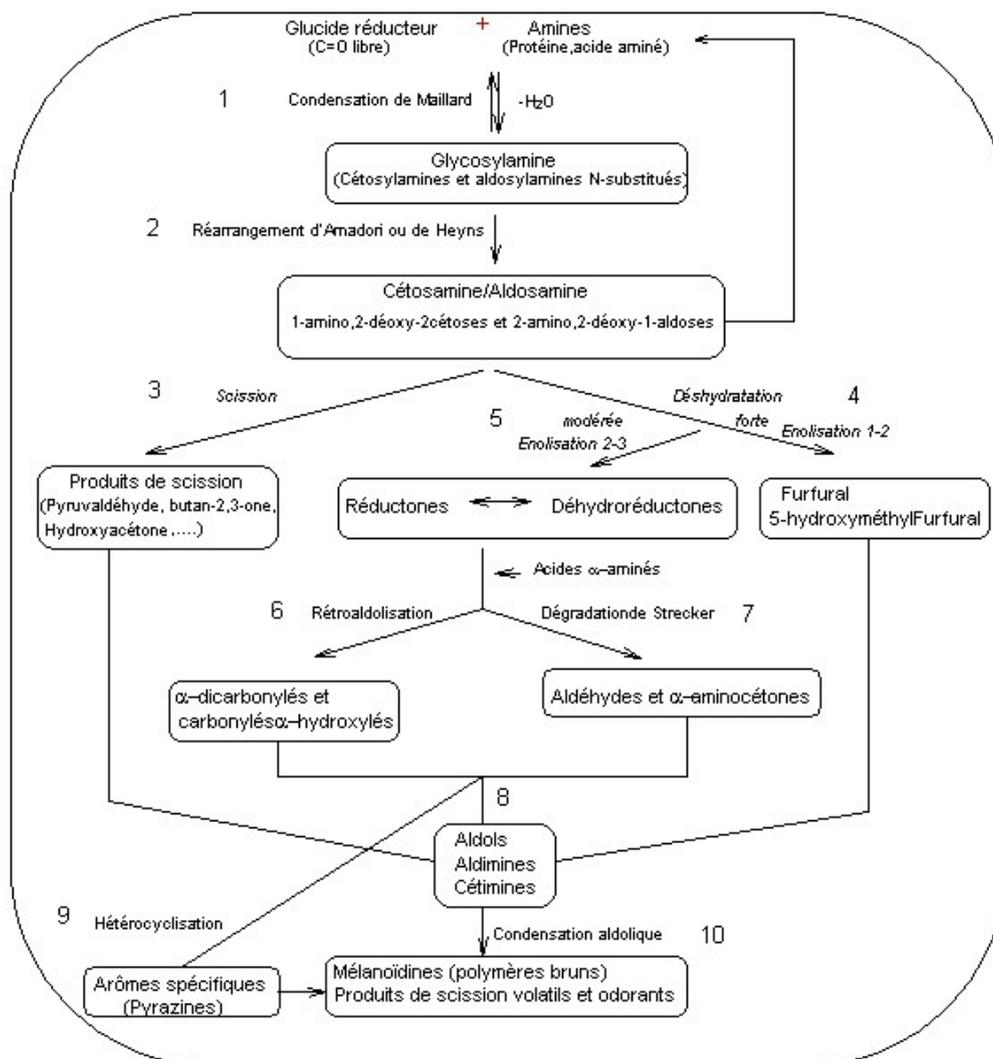


Figure 56 : Schéma simplifié de la réaction de Maillard
GOMEZ G. tice.ac-montpellier.fr

Au cours de la réaction de Maillard sont également produits des composés volatils tels que les pyrazines. Ces derniers sont présents en quantité infime car la majorité est transformée en gaz carbonique. Malgré cela ils contribuent au développement de l'arôme du cacao. (10,19,61)

Au final, on peut séparer les arômes du chocolat en trois types. Les arômes de constitution, qui sont ceux que l'on retrouve dans la graine fraîche et qui dépendent de la variété. Les arômes fermentaires, qui vont donc dépendre de la bonne mise en œuvre de la fermentation. Enfin les arômes thermiques, qui se développent avec le séchage puis par la torréfaction.

b) Concassage, décorticage et dégermage

Le but de ces différentes opérations est de séparer les différents éléments constituant la fève, à savoir la coque (ou tégument), l'amande (constituée par les cotylédons) et le germe. Ce processus est facilité par la torréfaction, qui rend la coque cassante.

Le concassage se décompose en trois opérations. Dans un premier temps la fève est soumise à un choc ou à une friction telle qu'elle va provoquer le cassage de la coque tout en abimant l'amande le moins possible. Vient ensuite le criblage, où les fragments d'amande et de coques sont triés par tamisage. Enfin, le vannage va entraîner les fragments issus du criblage en fonction de leur granulométrie dans une colonne d'aspiration dans laquelle on ajuste la vitesse de l'air de sorte que les coques, possédant la densité la plus faible, soit entraînées vers le haut, tandis-que les amandes seront récupérées en bas de la colonne.

Selon la législation européenne, la teneur résiduelle en coques ne doit pas excéder 5% de la matière sèche et dégraissée. Cette teneur en coques résiduelles va influencer la charge bactérienne, mais également la facilité du broyage.

On retire ensuite le germe, très riche en cellulose et donc indigeste, à l'aide d'une dégermeuse constituée de tamis vibrants, permettant de retenir le germe des fèves préalablement décortiquées. Ce germe est ligneux et dur et si on le retrouvait dans le chocolat, cela formerait des grains durs et désagréables sous la dent. De plus ce dernier étant riche en théobromine et en tanins, il donnerait de l'âpreté et de l'astringence à la pâte de cacao.

Au terme de ces opérations de nettoyage, torréfaction, concassage et dégermage, les fèves de cacao ont perdu 20% de leur poids. (5,19,22)

c) Broyage et concassage

Après avoir été séparés de leur coque et de leur germe, les cotylédons concassés sont broyés à chaud (entre 50 et 70°C), dans une série de rouleaux de plus en plus serrés permettant de les réduire en fines particules. On peut également retrouver l'utilisation de moulins cylindriques, à disque, à broches, à billes.

Ce broyage donne une pâte fluide et épaisse, odorante et de couleur brun foncé, appelée « pâte de cacao ». Cette dernière va subir un second broyage afin de réduire encore la granulation des particules solides afin de leur donner une taille imperceptible à la langue et au palais, d'une taille de l'ordre de 20 à 30 microns. La pâte de cacao contient environ 50% de beurre de cacao, ce qui explique sa texture de pâte et non de poudre. Elle pourra être utilisée telle quelle mais son amertume est très intense et limite donc son emploi à la coloration ou à l'aromatisation. Sinon, elle pourra prendre deux voies : celle du chocolat, ou celle de la poudre de cacao et du beurre de cacao. (5,19,22)

d) Le cacao en poudre et le beurre de cacao

La pâte de cacao est chauffée à une température de 100 à 110°C, afin de provoquer la fonte des graisses et soumise à une forte pression (entre 300 et 400 bars), à l'aide de presses hydrauliques. On obtient ainsi deux produits : le beurre de cacao, qui est liquide à ce stade, et le tourteau de cacao, qui est la partie solide.

C'est le tourteau qui servira de base à la préparation des poudres de cacao. Le beurre quant à lui, sera utilisé dans la préparation du chocolat ou dans l'industrie cosmétique.

i. La fabrication du cacao en poudre

La poudre de cacao est définie de la manière suivante « les dénominations « cacao en poudre », « poudre de cacao » sont réservées au produit de la pulvérisation, après ou sans dégraissage, de la pâte de cacao, à la condition que le cacao en poudre ou la poudre de cacao obtenues renferme au minimum 18% de beurre de cacao, calculés sur la matière sèche ».

Pour l'obtenir, on a vu précédemment que la pâte de cacao est soumise à une pression intense, afin d'en extraire la matière grasse. Le tourteau ainsi obtenu va subir un autre broyage, par passage dans des concasseurs, puis il sera pulvérisé dans des

moulins. On laisse ensuite la poudre ainsi obtenue refroidir, et on la passe dans un tamis en soie, en nylon ou en métal.

La poudre ainsi obtenue est ensuite soumise à une alcalinisation, qui consiste à chauffer le cacao en présence d'une solution alcaline. Ce procédé a été mis au point par J.C. Van Houten, en 1828, et est nommée méthode de solubilisation ou « Dutch process ». Cette alcalinisation peut être réalisée sur les fèves ou sur le tourteau (ce qui est le plus fréquent). On augmente ainsi le pH de 5,2-5,6 à 6,8-8.

Elle permet plusieurs choses. Tout d'abord, elle augmente la solubilité de la poudre de cacao dans l'eau. De plus, l'alcalinisation entraîne un changement de couleur de la poudre, qui devient plus foncée, renforçant son pouvoir colorant. Cette modification de couleur se traduit aussi par des changements chimiques, notamment en entraînant la diminution en quantité de composés phénoliques comme l'épicatéchine (sa concentration diminuerait de moitié pendant l'alcalinisation). D'autre part, on neutralise l'acidité du cacao, ce qui corrige la saveur des fèves trop acides.

Une alcalinisation réussie va donc améliorer la qualité gustative du cacao, en faisant disparaître les goûts acides. Mais une alcalinisation trop poussée peut donner un goût de savon.

De plus, ce procédé est encadré par la législation européenne. En effet, les directives fixent les règles suivantes : les agents utilisés seuls ou en mélange sont les carbonates et hydroxydes alcalins, le carbonate et l'oxyde de magnésium et les solutions ammoniacales. La quantité d'agent alcalin ne doit pas excéder 5% du poids de la matière sèche et dégraissée. (62)

ii. Le beurre de cacao

Nous avons vu précédemment le processus de fabrication de la pâte de cacao. C'est ensuite sur cette pâte que nous allons travailler afin d'obtenir le beurre de cacao. Comme son nom laisse le présager, le beurre de cacao correspond à la partie grasse contenue dans la pâte. On va donc extraire cette matière grasse par expression à haute pression, à l'aide de presses hydrauliques. On obtient ainsi un liquide, qui va ensuite être filtré afin d'en retirer les fibres et impuretés. Il est ensuite tempéré, c'est-à-dire maintenu à sa température de fusion, afin que ses cristaux puissent se cristalliser dans leur forme la plus stable. Il est pour terminer affiné, afin d'en neutraliser l'acidité, le décolorer et le désodoriser. (4,19,22)

IV. Composition chimique et effets physiologiques du cacao

1. Composition chimique

Il est important de noter que la composition chimique de la fève de cacao brute, avant tout traitement par l'homme, est très différente de celle que l'on va retrouver dans les produits transformés comme la pâte de cacao. En effet, au cours de sa transformation en chocolat, la fève subit de multiples réactions chimiques, entraînant des modifications physico-chimiques et organoleptiques de celle-ci.

De plus toutes les valeurs citées ci-après concernant la composition chimique des fèves de cacao sont bien évidemment variables en fonction de la variété, de la zone géographique de production et par conséquent des conditions de développement du cacaoyer. De même pour les concentrations observées dans les graines ayant subi fermentation et torréfaction, puisque les concentrations en différents composés vont dépendre de la manière de mener ces processus par les producteurs, puis les chocolatiers, qui ont tous leurs méthodes propres.

a) Composition de la graine fraîche

Lorsque l'on parle de la graine fraîche, on parle à la fois de l'amande, de sa coque et de la pulpe qui les entoure. Mais ces trois constituants ne possèdent pas la même composition chimique. Nous allons donc les détailler un par un.

i. Composition chimique de l'amande

L'amande est constituée par l'embryon et l'albumen, ce qui représente plus de 90% du poids de la graine. Voici la répartition des différents éléments la composant [Fig. 57] :

- 5 à 8% d'eau
- 1 à 4% de bases xanthiques, à savoir la théobromine de 1 à 3% et la caféine de 0,5 à 0,8%. On peut également noter la présence de théophylline, mais uniquement à l'état de traces.

- 2 à 5 % d'éléments minéraux et de vitamines. Il s'agit essentiellement de calcium, magnésium, phosphore, potassium, fer et cuivre ainsi que des vitamines D, B1, B2 et B6.
- 5 à 10% de composés phénoliques hydrosolubles et de tanins insolubles.
- 12 à 18 % de protéines, qui sont présentes sous forme de peptides et d'enzymes. Les deux principales sont l'albumine (à 52 %) et la globuline (à 43 %). On retrouve également, mais en quantité beaucoup moins importante, des glutelines et des prolamines.
- 13 à 15% de glucides, qui sont des sucres simples (ou oses). On retrouve principalement du saccharose, ainsi que du fructose et du glucose. Quelques polysaccharides sont aussi présents dans les cotylédons, notamment l'amidon, la cellulose et la pectine.
- 45 à 56% de lipides, qui constituent le beurre de cacao. Concernant les lipides retrouvés dans la graine de cacao, on retrouve 98 % de lipides neutres et 2 % de lipides polarisés. Parmi les 98 % de lipides neutres, on retrouve 75 % de triglycérides, notamment l'acide oléique (34 à 36%), l'acide palmitique (25 à 29%), l'acide stéarique (31 à 35%) et l'acide linoléique. Dans les lipides polarisés, on retrouve un mélange de phospholipides.

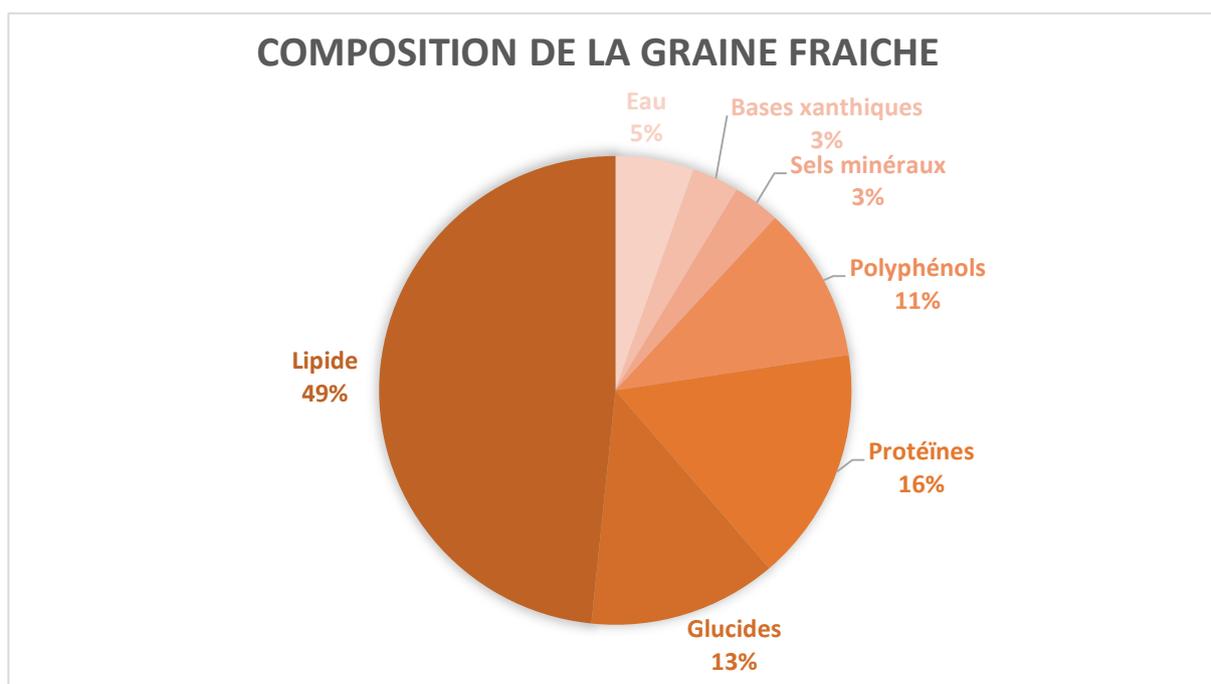


Figure 57 : Diagramme de la composition de la graine fraîche
MARNIER V.

La graine fraîche est dépourvue d'odeur, et sa saveur est fortement astringente, preuve de sa richesse en polyphénols. (19,22,63,64)

ii. Composition chimique de la coque

La coque, ou tégument séminal, représente 10% du poids totale de la graine. Sa composition est différente de l'amande qu'elle renferme. Elle est plus riche en sels minéraux et en amidon, mais moins riche en lipides. Elle contient également un peu de théobromine (0,01% à l'état frais), dont le taux va augmenter avec la fermentation. (22)

iii. Composition chimique du mucilage

Le mucilage, également appelé pulpe, entoure les fèves présentes dans la cabosse. C'est grâce à ce mucilage et à sa composition que le cacaoyer a pu se reproduire avant que l'homme se mette à le cultiver. En effet, la pulpe est composée de 80 à 85% d'eau et 10 à 12% de glucides, ce qui permettait d'attirer les animaux, essentiels à la reproduction de cet arbre, dont les fruits restent sur l'arbre et se dessèchent sans action extérieure. On peut également noter la présence d'acide citrique à hauteur de 1 à 3%, élément essentiel pour la fermentation, car il permet de maintenir le pH de la pulpe autour de 3,3-4.

La pulpe est structurée par un réseau de pectine, qui assure sa cohésion, qui est également un élément essentiel pour la fermentation. (5,22)

b) Modifications entraînées par la fermentation

Comme nous l'avons vu précédemment, lors de la fermentation, après ensemencement bactérien naturel, la pulpe va être détruite par les bactéries anaérobies, qui vont sécréter des enzymes pectinolytiques responsables de la destruction du réseau de pectine du mucilage. Elles vont également consommer une partie des sucres et de l'acide citrique. Une fois la pulpe liquéfiée, les bactéries aérobies peuvent intervenir, et on assiste à la fermentation acétique, qui comme son nom l'indique, va permettre la production d'acide acétique.

La fermentation permet la production de précurseurs d'arôme, on retrouvera donc dans la graine des acides aminés libres et des sucres réducteurs, qui sont les principaux précurseurs de l'arôme du cacao.

Concernant les composés présents auparavant dans la graine, les réactions chimiques entraînées par la fermentation vont modifier leur concentration. On peut notamment noter une diminution de l'ordre de 70% des polyphénols libres. En effet, les anthocyanes sont hydrolysés, puis ils se polymérisent. Cela va provoquer la modification de la couleur de la graine mais aussi diminuer son astringence. De plus, l'action de polyphénoloxydases sur les composés phénoliques va conduire à l'apparition de quinones. Ces dernières vont favoriser l'apparition d'acides cétoniques, précurseurs d'aldéhydes aromatiques.

Les purines quant à elles vont migrer dans les téguments (donc dans la coque), ce qui va permettre de diminuer l'amertume de l'amande. C'est ainsi que le taux de théobromine dans la coque passe de 0,01% dans la coque à 1,5% après la fermentation. (22,56,58)

c) Modifications entraînées par le séchage

Comme nous l'avons vu précédemment, le but du séchage est de diminuer le taux d'humidité de la fève, afin d'avoir une meilleure conservation. L'élimination de l'eau lors de cette étape permet aussi d'éliminer une partie de l'acide acétique formé lors de la fermentation. On va donc avoir conjointement une diminution du taux d'humidité et de la concentration en acide acétique. De plus, l'oxydation des substances phénoliques se poursuit, ce qui donnera sa couleur brune à la fève de cacao (auparavant violette). (5,22)

d) Modifications entraînées par la torréfaction

Cette étape, effectuée chez le chocolatier, permet de développer l'arôme du cacao grâce aux précurseurs formés au moment des étapes précédentes. Ainsi, les aldéhydes formés à partir d'amines et de produits de dégradation des sucres se condensent pour donner des composés à saveur de chocolat. L'arôme du cacao a une composition complexe : on y retrouve plus de 70 substances volatiles à fonctions organiques diverses : acides, phénols, alcools...

La quantité d'eau diminue encore au cours de la torréfaction.

On voit donc qu'entre le cacao à l'état brut, et le cacao consommé sous forme de chocolat, la différence de composition est très importante. D'autant plus que le chocolat n'est pas uniquement composé de cacao.

e) Composition du beurre de cacao

Comme nous l'avons vu précédemment, les lipides représentent 45 à 50% du poids de l'amande. Ces lipides correspondent au beurre de cacao, qui entre lui dans la composition du chocolat, mais aussi dans de nombreuses formulations de produits cosmétiques. Ce beurre de cacao est un mélange de glycéride (mono-, di- ou triglycérides) donc les principaux acides gras sont l'acide palmitique (26%), l'acide oléique (37%), l'acide stéarique (34%) et l'acide linoléique (2%). (4,19)

2. Les substances nutritives

Les informations rapportées dans la partie suivante concernent le chocolat, qui est le produit dérivé du cacao le plus consommé par l'homme. Les substances nutritives retrouvées dépendent du type de chocolat (noir, au lait, blanc) consommé.

a) Les macronutriments

Les macronutriments sont les éléments majoritaires de l'alimentation. Ce sont eux qui apportent de l'énergie à l'organisme sous forme de calories. Ils comptent plusieurs catégories : les glucides, les lipides et les protéines. On les retrouve en proportions différentes, selon le type de chocolat [Tableau 4]. (65)

Tableau 4 : Concentration en macronutriments dans les différents types de chocolats
MARNIER Virginie

	Pour 100g de chocolat noir à 70%	Pour 100g de chocolat au lait	Pour 100g de chocolat blanc
Glucides	26,9g	55,6g	57,1g
Lipides	46,3g	30,8g	34,2g
Protéines	10,4g	7,5g	6,1g

i. Les glucides

Les glucides constituent la source d'énergie immédiatement disponible de l'organisme. Ils présentent donc un intérêt lors des efforts brefs et intenses.

Dans le cacao on retrouve les glucides présents naturellement dans la fève, qui comptent les oses simples, notamment le saccharose et le fructose qui constituent les sucres d'absorption rapide. On trouve aussi des polysaccharides comme l'amidon, la cellulose ou la pectine, qui sont des sucres à absorption plus lente, permettant à l'organisme de fournir des efforts plus longs et plus soutenus.

Dans le chocolat il y a également des sucres ajoutés, le plus souvent du saccharose et du sirop de glucose. La teneur en glucide va donc varier en fonction du pourcentage de cacao : plus le chocolat est riche en cacao, moins il y a de sucres ajoutés.

L'index glycémique (qui est un indicateur sur la capacité d'un aliment à augmenter la glycémie, c'est-à-dire la concentration de glucose dans le sang) du chocolat noir à 70% de cacao est de 22, ce qui n'est pas très élevé. Celui du chocolat blanc est de 60 et du chocolat au lait de 49. Ces chiffres sont à comparer à l'index glycémique du glucose, qui est celui de référence avec une valeur de 100. (19,64)

ii. Les lipides

Les lipides ou matière grasse proviennent du beurre de cacao qui représente 45 à 50% du poids de la fève de cacao. Ce sont les nutriments les plus énergétiques puisqu'un gramme de lipide fournit 9 kilocalories. La majeure partie des lipides sert à fournir de l'énergie à l'organisme, le reste va avoir des fonctions dans les processus métaboliques essentiels comme la construction des membranes cellulaires ou le transport de vitamines liposolubles. Ils permettent aussi de procurer un sentiment de satiété.

Dans le cacao, on observe principalement des acides gras présents sous forme de triglycérides. 60% sont des acides gras saturés, parmi lesquels on retrouve l'acide palmitique (26%) et l'acide stéarique (34%). Les acides gras saturés sont impliqués dans l'augmentation du taux sanguin de cholestérol et donc dans le développement de pathologies cardiovasculaires et dans l'obésité. Les 40% restants sont des acides gras insaturés dont l'acide oléique (37%), l'acide linoléique (2%) et l'acide arachidonique (1%). Ils ont rôle essentiel dans le bon fonctionnement de l'organisme,

intervenant notamment sur le système nerveux, les défenses immunitaires ou encore dans la croissance.

Une fois dans l'organisme, l'acide stéarique est rapidement désaturé pour donner de l'acide oléique, ce qui porte le taux réel de ce dernier à 70%. On peut donc considérer qu'une fois dans l'organisme, le chocolat apporte 25% d'acides gras saturés et 75% d'acides gras insaturés. De plus, il faut noter que l'acide oléique a des propriétés favorables au bon fonctionnement du système cardiovasculaire car il diminue les concentrations plasmatiques du cholestérol total et il diminue l'agrégation plaquettaire.

On trouve également 1 à 2% de lipides polarisés, dont 70% de glycolipides et 30% de phospholipides. Ces derniers ont pour effet de diminuer la viscosité du beurre de cacao.

Il y a également une petite fraction de lipides insaponifiables, à hauteur de 0,3%. Ce sont les stérols, comme le campestérol, le stigmastérol, et le bêta-sitostérol. Ils comprennent aussi les terpènes et les alcools aliphatiques à longue chaîne, qui sont des éléments essentiels de l'arôme du cacao.

Plus le chocolat est fort en cacao, plus il est riche en lipides. (4,19,22)

iii. Les protéines

Les protéines sont un assemblage d'acides aminés liés par des liaisons peptidiques. On parle de protéine lorsque plus de 100 acides aminés sont liés entre eux. On les retrouve dans les enzymes, les anticorps ou encore les hormones. Dans l'alimentation, ils constituent la seule source d'azote, qui est un élément indispensable à la vie.

En moyenne on trouve 10g de protéines pour 100g de chocolat noir. On peut citer 8 acides aminés indispensables à l'organisme qui sont présents dans le chocolat : isoleucine, leucine, lysine, phénylalanine, méthionine, thréonine, tryptophane et valine. (19,64)

b) Les micronutriments

Les micronutriments sont des nutriments n'apportant pas d'énergie mais qui sont malgré tout indispensables pour le bon fonctionnement de l'organisme. Ils sont actifs à faible dose et regroupent les vitamines, les oligo-éléments et les minéraux.

i. Sels minéraux

Le chocolat contient des éléments minéraux très importants pour le bon fonctionnement de l'organisme, dont certains en quantité intéressante d'un point de vue nutritionnel. [Tableau 5].

Tableau 5 : Concentration en sels minéraux du chocolat noir et chocolat au lait et Référence Nutritionnelle pour la Population
MARNIER Virginie

Sel minéral	Teneur pour 100g de chocolat noir à 70% de cacao	Teneur pour 100g de chocolat au lait	RNP chez l'homme	RNP chez la femme
Potassium	750mg	510mg	Conditionné par l'apport en sodium	
Phosphore	280mg	230mg	700mg	
Magnésium	200mg	59mg	420mg	360mg
Calcium	60mg	220mg	1000mg	
Fer	11mg	3,6mg	11mg	
Sodium	8mg	78mg	2g	
Cuivre	1,6mg	0,3mg	1,3mg	1mg
Zinc	3mg	1,1mg	9,4mg	7,5mg

(RNP = Référence Nutritionnelle pour la Population) (65,67)

Le potassium intervient dans la régulation de l'équilibre hydrique et acido-basique de l'organisme en association avec le sodium et le chlore. Il empêche la fuite de l'eau hors des cellules. Il intervient aussi dans l'excitabilité neuromusculaire, la fabrication des protéines, la mise en réserve des glucides sous forme de glycogène dans le muscle et dans le métabolisme cardiaque. Un léger manque de potassium peut conduire à une fatigue musculaire et à des crampes. En revanche une carence entraîne des troubles graves, notamment sous forme de manifestations neuromusculaires et cardiovasculaires. Le chocolat représente un apport alimentaire de potassium tout à fait intéressant. Cependant sa forte teneur implique qu'il soit écarté du régime de l'insuffisant rénal. L'apport journalier recommandé dépend de l'apport en sodium. En effet, il faut que le rapport molaire Sodium/Potassium soit de 1. En moyenne, on peut définir un apport journalier recommandé à 3500mg. (19,22,64,66)

Le phosphore joue un rôle structural pour les os et les dents en association avec le calcium. Il aide également au maintien de l'équilibre acido-basique de l'organisme. C'est aussi un composant important de l'Adénosine TriPhosphate (ATP) et permet la mise en réserve et la libération d'énergie. L'apport journalier recommandé est de 800mg. (19,22,64,66)

Le magnésium intervient comme cofacteur dans plus de 300 réactions enzymatiques, en particulier dans celles qui conduisent à la relaxation musculaire et à la synthèse de protéines. Il module la réactivité au stress et inhibe l'excitabilité neuronale. Il participe en outre à la libération de l'énergie provenant de notre alimentation et joue un rôle dans la prévention des inflammations. Au niveau cérébral, il stimule la sécrétion de dopamine, qui est un neurotransmetteur impliqué dans la sensation de plaisir, plus communément appelé le « circuit de la récompense ». Une carence en magnésium entraîne fatigue, anxiété, insomnie, tremblements, troubles digestifs tel que constipation. La meilleure façon de prévenir cette carence est de couvrir les besoins en magnésium, qui sont de 350mg par jour. On peut également noter que l'anxiété est une cause importante de perte magnésique, car elle stimule la sécrétion de minéralocorticoïdes et glucocorticoïdes. Ces derniers augmentent l'excrétion rénale du magnésium et diminuent son absorption intestinale. (19,22,64,65)

Le calcium est l'élément minéral le plus important du corps. Il joue un rôle fondamental dans la construction et le maintien du capital osseux et dans la

constitution des dents. Il est aussi indispensable au fonctionnement cellulaire, à la contraction musculaire, y compris celle du cœur, au bon fonctionnement du système nerveux, à l'activité des enzymes et enfin à la coagulation du sang. (19,22,64,65)

Le sodium est retrouvé en faible quantité dans le chocolat noir ce qui lui permet d'être mangé par les personnes suivant un régime appauvri en sel. Le chocolat au lait, en revanche, est à éviter car 100 g renferment 100 mg de sodium. (19,22,64,65)

Le fer est capital pour la formation des globules rouges et pour l'oxygénation du corps et donc du cerveau. Le coefficient d'absorption est de seulement 5 % pour le fer d'origine végétale donc son apport par le chocolat est très faible. L'apport journalier recommandé est de 20mg. (19,22,64,65)

Le cuivre est un antioxydant. Il agit comme cofacteur de la superoxyde dismutase (SOD), qui est un système enzymatique naturel ayant un rôle anti-radicaux libres. Le rôle des substances antioxydantes a été mis en avant dans la prévention de nombreuses maladies, en particulier cancéreuses. L'apport journalier recommandé est de 3mg, le chocolat noir peut donc constituer un aliment intéressant, car 100g fournissent 22% journaliers recommandés. En revanche 100g de chocolat au lait ne fournissent que 11%. (19,22,64,65)

Le zinc intervient dans le métabolisme des gonades, dans les processus de défense immunitaire et dans l'état cutané. L'apport journalier recommandé est de 15mg. (19,22,64,65)

ii. Vitamines

Les vitamines sont des substances organiques, sans valeur énergétique mais indispensables en infime quantité à la croissance et au bon fonctionnement de l'organisme, qui ne peut en effectuer lui-même la synthèse. (68)

On retrouve dans le chocolat de nombreuses vitamines, bien qu'elles soient présentes en faible quantité [Tableau 6]. On peut citer les vitamines B1, B2, B3, B5, B6, B9, B12 et E. Les vitamines A, C et D ne sont présentes qu'à l'état de traces. (19,22,64,65)

Tableau 6 : Concentration en vitamines du chocolat noir et chocolat au lait et Apports Satisfaisants journaliers
MARNIER Virginie

Vitamine	Teneur pour 100g de chocolat noir	Teneur pour 100g de chocolat au lait	AS chez l'homme	AS chez la femme
B1	0,13mg	0,071mg	1,5mg/jour	1,2mg/jour
B2	0,11mg	0,26mg	1,8mg/jour	1,5mg/jour
B5	0,44mg	1,26mg	5,8mg/jour	4,7mg/jour
B6	< 0,01mg	0,066mg	1,8mg/jour	1,5mg/jour
B9	52µg	18,7µg	330µg/jour 400µg/jour en période périconceptionnelle chez la femme	
B12	0,35µg	0,54µg	4µg/jour	
C	< 0,5mg	1,60mg	110mg/jour	
D	2,16µg	1,5µg	15µg/jour	
E	0,67mg	0,45mg	10,5mg/jour	9,9mg/jour

(AS = Apport Satisfaisant) (65,67)

La vitamine B1, également appelée thiamine, est une vitamine hydrosoluble apportée uniquement par l'alimentation. Cette dernière est très répandue dans la nature. En effet, on la trouve aussi bien dans les aliments d'origine animale que d'origine végétale, ainsi que dans les levures. Dans l'organisme on peut la trouver sous forme de Thiamine DiPhosphate (TDP) ou de Thiamine TriPhosphate (TTP). La TDP joue un rôle essentiel dans la production d'énergie, car elle agit comme coenzyme dans le métabolisme du glucose. La TTP quant à elle joue un rôle dans l'équilibre nerveux, en se comportant comme un modulateur des canaux chlore présents au niveau cérébral. (19,64,69)

La vitamine B2 ou riboflavine est une vitamine hydrosoluble, caractérisée par sa couleur jaune. Elle est synthétisée par la flore intestinale, mais en quantité insuffisante pour couvrir les besoins quotidiens de l'organisme. Il y a donc nécessité d'un apport alimentaire. On la retrouve principalement dans les aliments d'origine animale, notamment les laitages, le poisson et les œufs. On retrouve également de la riboflavine dans les levures. C'est une vitamine qui est sensible à la lumière. Dans l'organisme on la retrouve sous la forme de deux coenzymes : la Flavine Adénine Dinucléotide (FAD) et la Flavine MonoNucléotide (FMN) qui agissent toutes deux comme accepteurs d'hydrogène dans les réactions redox des mécanismes énergétiques, notamment dans l'oxydation du glucose responsable de la libération d'énergie. La riboflavine participe également à la respiration cellulaire mitochondriale. (19,70)

La vitamine B5 ou acide pantothénique est une vitamine hydrosoluble. C'est une vitamine très répandue dans la nature, d'où son nom. La flore intestinale en produit une petite quantité, insuffisante pour les besoins de l'organisme. Elle est un précurseur de la coenzyme A, essentielle dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides. Elle favorise la croissance et la résistance de la peau et des muqueuses. Elle participe également la synthèse de certaines hormones. (19,64)

La vitamine B6 ou pyridoxine est une vitamine hydrosoluble. Elle intervient dans le métabolisme des acides aminés et du glycogène, ainsi que dans la synthèse d'ADN. Elle participe également à la production d'hémoglobine et de nombreux messagers chimiques cérébraux (dopamine, sérotonine, adrénaline).

La vitamine B9 ou acide folique est une vitamine hydrosoluble. Elle rentre dans la composition des coenzymes intervenant dans la synthèse de certains acides aminés comme la méthionine, indispensable à la croissance de l'organisme. Elle participe également à la synthèse des purines, à la formation des globules rouges. On connaît également son rôle essentiel dans la fermeture du tube neural lors de l'embryogenèse.

La vitamine B12 ou cobalamine est une vitamine hydrosoluble fortement stockée dans le foie. Ce stock est si important qu'il permet de disposer de plusieurs années de réserves. Elle a un rôle de coenzyme dans la reproduction des cellules du tube digestif, du système nerveux et de la moelle osseuse. Elle joue également un rôle dans la formation des globules rouges. Elle est également nécessaire au métabolisme des glucides, des lipides et des protéines, permettant ainsi la production d'énergie.

La vitamine C ou acide ascorbique est une vitamine hydrosoluble. Elle a une action antioxydante, permettant de neutraliser les radicaux libres responsables du vieillissement cellulaire. Elle a également un rôle stimulant sur le système immunitaire de par son action sur la synthèse des anticorps et sa présence dans les globules blancs.

La vitamine E, également appelée tocophérol, possède de fortes propriétés antioxydantes, participant au ralentissement du vieillissement oculaire et de la peau.

3. Substances actives

Dans le cacao, on retrouve plus de 380 composants chimiques, dont 10 composants psychoactifs. Nous étudierons ici les principales substances actives, ainsi que leurs effets sur l'organisme, dans sa forme la plus consommée par l'homme, à savoir le chocolat. (10)

a) Les polyphénols

Les polyphénols sont une catégorie de molécules organiques largement répandues dans le règne végétal et dans nos aliments. Comme leur nom l'indique, ils sont constitués d'un assemblage complexe de molécules plus petites, les phénols, composés eux-mêmes d'un noyau benzénique et de fonctions hydroxyle. On retrouve dans ce groupe des phénols simples, des acides phénoliques, des coumarines, des flavonoïdes, ainsi que des formes polymérisées, comme les tanins et la lignine.

Les polyphénols sont les composants actifs les plus présents dans le cacao à l'état brut. En effet, avant tout traitement par l'homme, ils représentent en moyenne 10% du poids de la fève fraîche. Ils sont stockés dans les cellules pigmentaires des cotylédons, et sont notamment responsables de l'arôme et de la couleur des graines. La teneur dans le chocolat est bien moindre que dans la graine fraîche, car elle peut diminuer de 10 à 80% au cours des différents traitements subis par les fèves, mais elle reste non négligeable. De nombreuses analyses ont été faites afin de déterminer la teneur en polyphénol du chocolat mais ce dernier n'étant pas un produit standardisé, les valeurs sont particulièrement variables. Elles dépendent de la variété de cacao utilisée ainsi que de la formulation du chocolat. Plus un chocolat est riche en cacao, plus il contient de polyphénols. (10,71)

Les polyphénols retrouvés majoritairement dans le cacao sont l'épicatéchine et la catéchine [Fig. 58], qui sont des flavonoïdes. On observe également des ProAnthocyanidines (PAC), qui sont des tanins condensés.

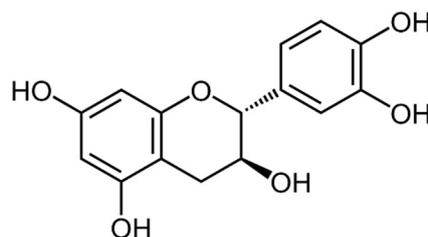


Figure 58 : Structure chimique de la catéchine
[wikipedia.com](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cat%C3%A9chine)

Bien qu'ils soient présents en quantité intéressante dans le chocolat, une fois ingérés leur biodisponibilité peut être assez faible. Même s'ils restent stables dans l'estomac, ils vont être métabolisés par le petit intestin et le foie. Les différentes études sur leur biodisponibilité montrent une fois encore de grandes variations, car cette dernière dépend du type de cacao utilisé et de la matrice (le chocolat et donc sa composition). L'effet des polyphénols du cacao sur l'organisme va donc dépendre de plusieurs éléments : la dose ingérée, la quantité réelle libérée par la matrice, la stabilité une fois ingérée, l'absorption par les cellules épithéliales du petit intestin puis la sécrétion dans la circulation. Malgré tout, on observe quand même un effet positif lors de la consommation de chocolat noir. (10,71)

Les polyphénols sont connus principalement pour leur effet antioxydant. Ces dernières années, on s'est beaucoup intéressé au stress oxydant, qui entraîne une présence excessive de radicaux libres. Ces radicaux libres, produits par divers processus physiologiques, sont utiles à l'organisme à dose raisonnable. En excès, ils ont des effets destructeurs via l'oxydation des protéines. Ils peuvent s'attaquer à l'ADN en perturbant sa réplication, ce qui entraîne la mort des cellules par apoptose ou nécrose. On retrouve une quantité excessive de radicaux libres dans plusieurs pathologies comme l'athérosclérose, les maladies rhumatismales ou encore certains cancers. Ils sont également responsables du vieillissement. (72,73)

C'est donc grâce à sa richesse en polyphénols que le cacao a souvent été mentionné comme bénéfique pour la santé. Mais la plupart des études sont hétérogènes pour les raisons citées précédemment. On peut malgré tout noter certains effets approuvés sur la protection cardiovasculaire. En effet, les polyphénols présents dans le chocolat noir ont une action oxydante du LDL-cholestérol, ils diminuent l'agrégation plaquettaire et donc les risques de thrombose, ils favorisent la vasodilatation et diminuent l'inflammation. En agissant sur l'ensemble de ces points, ils sont susceptibles de favoriser la lutte contre l'athérosclérose ce qui abaisse le risque de maladies cardio-vasculaires. On a également observé que les flavonoïdes améliorent la fonction endothéliale en agissant sur le métabolisme du monoxyde d'azote. (19,22,71,74,75)

b) Les méthylxanthines

Les méthylxanthines sont des alcaloïdes, définis comme des substances organiques d'origine végétale, contenant au moins un atome d'azote. Leur structure chimique repose sur un noyau purine, lui-même composé d'un noyau pyrimidine et d'un noyau imidazole. Le noyau purine est ici oxydé et les hydrogènes en position 1, 3 et 7 peuvent être substitués par un groupement méthyle. Celles que l'on retrouve dans le cacao sont la théobromine (3,7-diméthylxanthine), la caféine (1,3,7-diméthylxanthine) et la théophylline (1,3-diméthylxanthine), bien que les deux dernières soient présentes en plus petite quantité [Fig. 59].

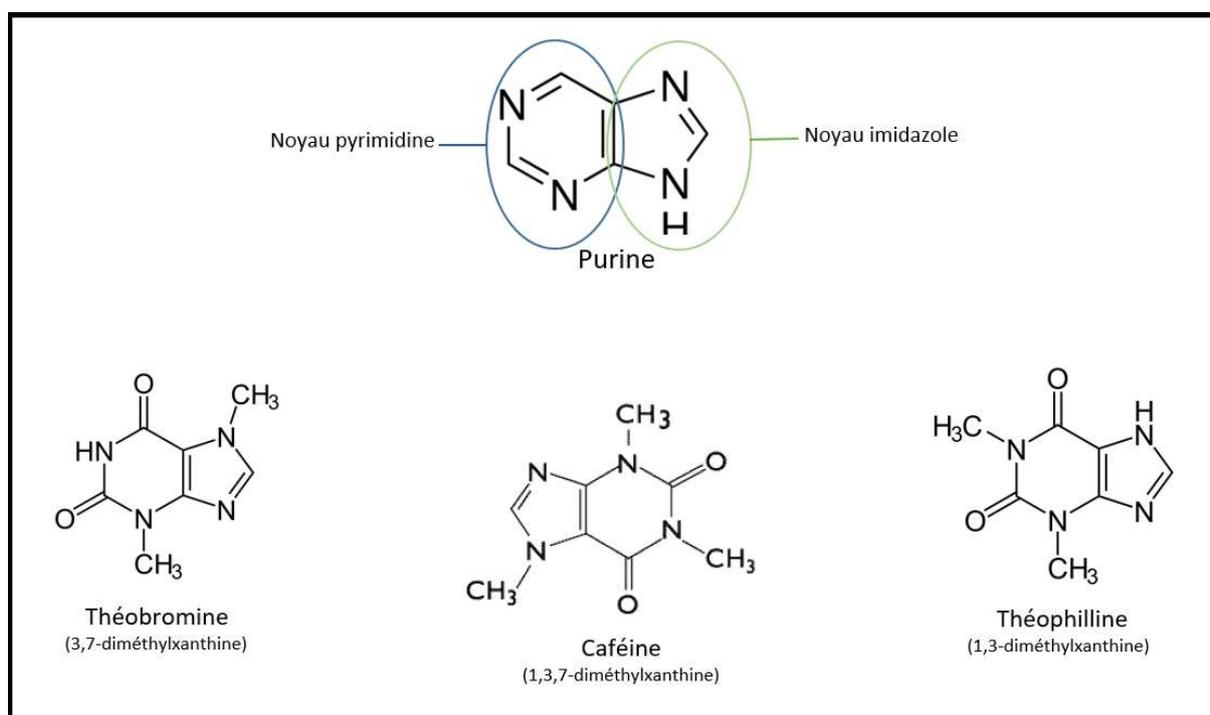


Figure 59 : Structure chimique des trois méthylxanthines présentes dans le cacao
MARNIER V.

On connaît deux de leurs mécanismes d'action. Elles sont inhibitrices des phosphodiésterases, enzymes responsables de l'inactivation de l'Adénosine MonoPhosphate cyclique (AMPC). L'AMPC est un second messenger, c'est-à-dire une molécule permettant la transduction d'un signal provenant de l'extérieur d'une cellule (*via* une hormone ou un neurotransmetteur) vers l'intérieur ou à la surface de celle-ci. Les méthylxanthines permettent donc d'augmenter le taux intracellulaire d'AMPC, ce qui augmente son action de second messenger. Les méthylxanthines permettent donc de favoriser les transmissions nerveuses. (76)

Elles sont aussi antagonistes de l'adénosine. Cette dernière est un nucléoside présent dans l'ensemble du corps jouant un rôle dans le métabolisme énergétique de l'Adénosine TripPhosphate, et stimulant quatre récepteurs à l'adénosine : A1, A2a, A2b et A3. Au niveau cérébral elle joue un rôle au moment de l'endormissement et de l'état de veille, en se fixant sur les récepteurs A2b, ce qui entraîne une suppression de l'activité neuronale et une augmentation de la circulation sanguine. Au niveau cardiovasculaire, elle entraîne une vasodilatation des artères coronaires *via* sa fixation sur les récepteurs A2a. Elle inhibe l'agrégation plaquettaire par l'intermédiaire des récepteurs A2a et A2b au niveau des hématies. Enfin il a été observé qu'une augmentation du taux d'adénosine tend à diminuer l'inflammation par une activation des récepteurs A2b. La caféine, la théobromine et la théophylline sont structurellement similaire à cette dernière, ce qui leur permet de se fixer à sa place sur ses récepteurs et d'empêcher son action. Cela explique de nombreux effets que ces molécules ont sur notre organisme. (77,78)

Les autres mécanismes d'action des méthylxanthines n'ont pas encore tous élucidés à ce jour. Mais les deux qui ont été cités précédemment expliquent les effets observés au niveau du système nerveux central, de l'appareil respiratoire, de la fréquence cardiaque, de la diurèse et des muscles squelettiques.

Bien que les mécanismes d'action de ces trois méthylxanthines soient qualitativement identiques, ils sont quantitativement différents. Ces différences ne sont pas encore complètement expliquées, mais il semblerait que cela soit dû à leurs demi-vies différentes. Cette différence quantitative pourrait expliquer les effets différents de ces 3 molécules sur l'organisme. (79)

i. La caféine et la théophylline

Comme nous l'avons dit précédemment ces deux méthylxanthines sont présentes dans le cacao en faible quantité. Dans 100g de chocolat noir, on retrouve en moyenne 50mg de caféine, et la théophylline n'est retrouvée qu'à l'état de traces. Ces quantités sont visiblement insuffisantes pour activer les mécanismes neuronaux responsables de leurs effets. (79)

On peut tout de même rappeler que la caféine est bien connue pour son effet stimulant du système nerveux central, principalement dû à son action antagoniste de

l'adénosine. En empêchant l'activité de cette dernière, on observe une augmentation de l'activité nerveuse déclenchant une sécrétion d'adrénaline, qui elle-même va entraîner une augmentation de la fréquence cardiaque et de la contractilité du cœur. La caféine augmente également la concentration en dopamine au niveau cérébral. Mais ses effets sont de courte durée. Il est également intéressant de noter que l'un des métabolites de la caféine est la théobromine, à hauteur de 12%.

Concernant la théophylline, elle agit majoritairement au niveau pulmonaire par une stimulation des centres respiratoires et vasomoteurs bulbaire. Mais étant donné la quantité infime retrouvée dans le cacao, sa consommation n'entraîne pas d'effet. (19,79)

ii. La théobromine

La théobromine est la base xanthique prépondérante du cacao. Malgré ce que son nom peut laisser penser, elle ne contient aucun atome de brome. En effet, il est tiré du nom latin du cacaoyer *Theobroma cacao*. Comme nous l'avons vu précédemment, la quantité en théobromine va diminuer drastiquement entre la fève fraîche, et le produit fini le plus consommé, le chocolat. En effet, lors de la fermentation, les méthylxanthines présentes au départ dans les cotylédons diffusent dans la coque. Puis cette dernière sera éliminée après la torréfaction. (19)

Pour donner un ordre d'idée, une plaquette de 100g de chocolat noir contient en moyenne 500mg de théobromine, soit 0,5%. Cette concentration diminue pour le chocolat au lait, où on ne retrouve plus que 100g de théobromine. (19,79)

La théobromine présente une action antitussive intéressante. Cette dernière inhibe l'activité du nerf vague, responsable du réflexe de la toux. Des études ont été menées en comparant la prise de 1000mg de théobromine contre 60mg de codéine et un placebo. Les sujets sont ensuite exposés à de la capsaïcine, composé irritant extrait des piments. Il a fallu une dose plus forte en capsaïcine chez les sujets ayant ingéré de la théobromine afin d'induire une toux. La théobromine possédant moins d'effets indésirables que la codéine, elle pourrait donc être une solution d'avenir pour les traitements de la toux, bien qu'aucune recherche ne soit actuellement menée en ce sens. (19,80)

La théobromine augmente le débit sanguin rénal et possède une activité diurétique notable et directe. Cet effet est plus prolongé pour la théobromine que pour la caféine et la théophylline. (19,74)

Enfin, la théobromine possède comme la caféine des effets stimulants, qui sont bien moins intenses qu'avec l'ingestion de cette dernière mais plus durable dans le temps.

4. Substances indésirables

Bien que le cacao contienne de nombreuses molécules possédant des effets bénéfiques pour notre organisme, il peut aussi contenir des substances délétères pour ce dernier.

a) Bioaccumulation

Consommé durant des années sans effet néfaste apparent sur la santé de l'homme, le chocolat a fait l'objet d'observations et de contrôles, en lien avec sa capacité du cacao à absorber des métaux lourds lorsque ce dernier est planté sur des sols volcaniques ou pollués. En effet, en 1981, l'OMS fixe des concentrations maximales autorisées pour le plomb ainsi que le cuivre dans la poudre de cacao. Actuellement, on contrôle également la présence de cadmium.

- Le cadmium : présent dans le sol, il est absorbé par le cacaoyer puis retrouvé dans le cacao et donc dans les produits de consommations comme le chocolat. Ces résidus de cadmium retrouvés dans le sol sont principalement dus à l'utilisation de fertilisants et de pesticides. La poudre de cacao fait partie à l'heure actuelle des aliments avec les plus fortes concentrations en cadmium. Ce dernier a des effets toxiques sur les reins, le squelette et l'appareil respiratoire. Il est également classé comme cancérigène. La limite maximale autorisée est fixée à 0,10mg de cadmium par kilo de cacao à l'état frais. (81)
- Le plomb : à fortes doses, ce dernier peut entraîner des encéphalopathies et des neuropathies, pouvant entraîner la mort. Il provoque également des effets digestifs, notamment des douleurs abdominales et des coliques. Enfin, il a des effets reprotoxiques et néphrotoxiques. La limite autorisée est fixée entre 0,20mg de plomb par kilo de cacao à l'état frais.

b) Présence de mycotoxines

On retrouve des mycotoxines dans de nombreux produits végétaux de consommation, la plupart du temps à des doses inoffensives. Leur présence dans le cacao n'a donc rien d'anormal. Mais comment ces mycotoxines se retrouvent-elles dans nos produits cacaotés ?

Pendant les différentes phases de traitement du cacao, on peut observer le développement de certains champignons filamenteux pouvant être toxigènes. La phase la plus à risque est le séchage. En effet, durant la fermentation, on observe un phénomène de compétition entre les multiples microorganismes responsables des transformations biochimiques et les champignons toxigènes, ce qui limite leur croissance. Au moment du séchage le taux d'humidité diminue, ce qui tue les populations de bactéries et de levures précédemment présentes favorisant ainsi la croissance des champignons filamenteux. Il y a également une contamination possible par les spores présentes sur le matériel utilisé pour le séchage.

A la fin du séchage, le taux d'humidité doit être de 6 à 7 %, ce qui est suffisant pour la survie des champignons filamenteux et la production des toxines. Ce taux d'humidité peut aussi augmenter au moment du stockage, car les fèves sont hygroscopiques, c'est-à-dire qu'elles absorbent l'eau présente dans l'air. Il est donc important d'adapter les durées de stockage en fonction des zones géographiques de production.

On se débarrasse d'une certaine quantité de champignons au moment du nettoyage des fèves, de la torréfaction et du retrait des coques. En effet, 12 % des contaminants sont présents dans ces dernières. On considère qu'après la torréfaction et l'alcalinisation des fèves, elles sont débarrassées de tous les champignons. Mais on parvient malgré tout à en isoler dans les produits issus du chocolat ce qui indique qu'une contamination a lieu dans les processus de fabrication suivants.

Les mycotoxines observées dans le chocolat sont l'ochratoxine A (OTA) [Fig. 60], qui est produite par plusieurs espèces d'*Aspergillus* et *Penicillium* et exceptionnellement certaines aflatoxines. Elles sont particulièrement résistantes aux traitements chimiques et physiques.

L'OTA a plusieurs effets néfastes pour l'organisme : cancérigène (groupe 2B), néphrotoxique, tératogène, et immunotoxique. L'humain est plus sensible aux effets néphrotoxiques de cette mycotoxine. De plus, elle est très longue à être éliminée, car sa demie-vie est de 35 jours. Le seuil d'ingestion acceptable déterminé par le JECFA (*Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*) est de 100ng/kg de poids par semaine. La concentration de cette mycotoxine augmente au moment du séchage. En effet les études montrent des taux indétectables au moment de la récolte, très faible au moment de la fermentation et du stockage, mais augmentés après le séchage. (82,83)

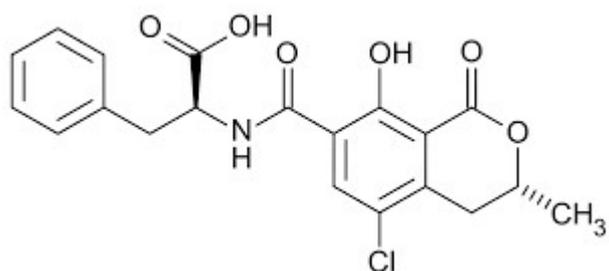


Figure 60 : Structure chimique de l'Ochratoxine A
wikipedia.com

Conclusion

Le cacaoyer, arbre millénaire aux fruits à l'allure caractéristique, était déjà cultivé par les populations mayas qui le considéraient comme un don des Dieux. Cela peut s'expliquer facilement par l'exigence dont il fait preuve lorsqu'il s'agit de ses conditions de vie. Il leur était si précieux qu'ils l'utilisaient comme monnaie, et en faisait une boisson nommée chocolat qu'ils utilisaient dans de nombreux rites. Lorsque les conquistadores arrivèrent au Nouveau-Monde, ils découvrirent cette nouvelle denrée. Et même si ce ne fut pas l'amour au premier abord entre eux et la boisson, cette dernière ne tarda pas à conquérir leur cœur et celui de toute l'Europe.

Considéré au départ comme un produit de santé, le cacao fit partie du paysage pharmaceutique pendant un temps. La poudre de cacao était utilisée comme excipient correcteur de goût, et le beurre de cacao dans la formulation des suppositoires. On trouvait également des chocolats pharmaceutiques ou hygiéniques, consommés pour leurs divers effets thérapeutiques. A l'heure actuelle, le chocolat a disparu de l'univers médical mais on continue de trouver du beurre de cacao dans certaines formulations dermo-cosmétiques.

Bien que sa culture et sa fabrication posent maintenant des questions d'ordre éthique, notamment concernant le travail des enfants et la déforestation, rien n'empêche sa consommation d'augmenter tous les ans au niveau mondial. Aujourd'hui, l'homme produit plus de 4 millions de tonnes de fèves de cacao par an. La culture du cacaoyer prend toujours place en Amérique Centrale, zone géographique où il vit le jour, mais c'est surtout en Afrique, où il fut implanté par l'homme, qu'il est produit. Malheureusement le cacaoyer est la cible de nombreuses maladies et de nombreux ravageurs, contre lesquelles la lutte est sans merci. Pour cela, l'homme utilise les méthodes les plus archaïques qui se trouvent être les plus efficaces *via* la lutte culturale. Mais il fait aussi preuve d'une grande ingéniosité en cherchant de nouvelles souches résistantes à ces pathologies.

Cette consommation de chocolat toujours plus importante par les hommes amène à se poser la question de son effet sur la santé. Et bien que les études à ce sujet soient hétérogènes, on a tout de même pu relever des effets bénéfiques, grâce à la présence de nombreux polyphénols, qui ont une action protectrice sur système cardiovasculaire. La présence de méthylxanthines comme la théobromine et la caféine, confère au chocolat une légère action stimulante du système nerveux.

Mais ne nous leurrions pas, ce n'est pas pour cela que l'homme consomme des produits cacaotés. C'est bel et bien pour ce goût unique, ce fondant sans égal, et le réconfort qu'il apporte à chaque bouchée. Alors, comme le disait François de La Rochefoucauld « Aimez le chocolat à fond, sans complexe ni fausse honte, car rappelez-vous : *sans un grain de folie, il n'est point d'homme raisonnable.* »

Bibliographie

1. Harwich N. Histoire du Chocolat. Desjonqueres. Paris; 1992.
2. [En ligne]. Anonym. INPN - Inventaire National du Patrimoine Naturel. Disponible: <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>
3. Anonym. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. Bot J Linn Soc. mai 2016;181(1):1-20.
4. Dubut O. Les beurres: karité (*Butyrospermum parkii*), cacao (*Theobroma cacao*), kokum (*Garcinia indica*) et illipé (*Shorea stenoptera*) [Thèse d'exercice]. France : Université de Nantes. Unité de Formation et de Recherche de Sciences Pharmaceutiques et Biologiques; 2012.
5. Barel M. Du cacao au chocolat, l'épopée d'une gourmandise. Quae. 2009.
6. EcoPort [En ligne]. Putter T, Marsella M. EcoPort; 2006. Disponible: <http://ecoport.org/>
7. Jumelle H. Le cacao, sa culture et son exploitation dans tous les pays de production. CHALLAMEL Augustin. Paris; 1900.
8. Martin P. Il était une fois le Cacao. Lanore. Paris; 2017.
9. Futura-sciences [En ligne]. König C. Cacao : génétique, culture, récolte; 25 déc 2015. Disponible: <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/botanique-chocolat-histoire-saveurs-degustation-753/page/3/>
10. Rusconi M, Conti A. *Theobroma cacao* L., the Food of the Gods: A scientific approach beyond myths and claims. Pharmacol Res. 1 janv 2010;61(1):5-13.
11. Motomayor JC, Lachenaud P, Da Silva E, Mota JW, Loor R, Kuhn DN, Brown JS, et al. Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). PloS One. 1 oct 2008;3(10):e3311.
12. International Cocoa Organization [En ligne]. Anonym. Growing cocoa; mars 2013. Disponible: <https://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html>
13. [En ligne]. CIRAD. La séquence du génome du cacaoyer déchiffrée; 2010. Disponible: <https://www.cirad.fr/actualites/toutes-les-actualites/communiqués-de-presse/2010/la-sequence-du-genome-du-cacaoyer-dechiffree>
14. Cocoa Genome Hub [En ligne]. CIRAD. À propos | Cacao Génome Hub. Disponible: <http://cocoa-genome-hub.southgreen.fr/about>
15. [En ligne]. CIRAD. Le décryptage du génome du cacaoyer : une avancée majeure pour la compréhension de la biologie et l'amélioration de cette espèce - CIRAD; 2010. Disponible: <https://www.cirad.fr/actualites/toutes-les-actualites/communiqués-de-presse/2010/decryptage-du-genome-du-cacaoyer>

16. Argout X, Salse J, Aury J-M, Guiltinan MJ, DROC G, Gouzy J, et al. The genome of *Theobroma cacao*. *Nat Genet.* févr 2011;43(2):101-8.
17. [En ligne]. Anonym. The Cacao Genome Project | Cacao Genome Database. Disponible: <https://www.cacaogenomedb.org/>
18. Zarillo S, Gaikwad N, Lanaud C, Powis T, VIOT C, Lesur I, et al. The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nat Ecol Evol.* Nature Publishing Group; déc 2018;2(12):1879-88.
19. Varin M-C. Le chocolat : depuis sa découverte à nos jours, bilan de 10 ans de recherches sur sa composition chimique et ses effets thérapeutiques [Thèse d'exercice]. Université de Caen; 2009.
20. Khodorowsky K, Herve R. *Le Chocolat*. Solar. 2004. 124 p.
21. [En ligne]. Petitot M. L'apparition du chocolat à la Cour de France; 19 déc 2015. Disponible: <https://plume-dhistoire.fr/lapparition-du-chocolat-a-la-cour-de-france/>
22. Daverio S. *Le chocolat dans tous ses états* [Thèse d'exercice]. Université de Nancy; 2005.
23. Huni C. Les articles « Cacao », « Chocolat », « Café », « Thé » dans trois dictionnaires du XVIII^{ème} siècle : le Trévoux de 1740, le James de 1746 et l'Encyclopédie de 1751 [Thèse d'exercice]. Université de Caen; 1998.
24. [En ligne]. Académie Française. Dictionnaire de l'Académie française. Disponible: <https://www.dictionnaire-academie.fr/>
25. Lemordant D. Utilisations pharmaceutiques du cacao. *J Agric Tradit Bot Appliquée.* Persée - Portail des revues scientifiques en SHS; 1979;26(3):233-46.
26. Bitoun E. *L'histoire fondante du chocolat Menier*. Skopia Film; 2013.
27. [En ligne]. INCI. *Theobroma cacao seed butter (Beurre de cacao) - Ingrédient INCI Beauty*. Disponible: <https://incibeauty.com/ingredients/1911-theobroma-cacao-seed-butter>
28. Statistics – International Cocoa Organization [En ligne]. [cité le 6 déc 2020]. Disponible: <https://www.icco.org/statistics/>
29. International Cocoa Organization [En ligne]. Bateman R. *New Pesticide Use in Cocoa manual now available*; avr 2016. Disponible: <https://www.icco.org/about-us/icco-news/292-new-pesticide-use-in-cocoa-manual-now-available.html>
30. [En ligne]. Anonym. *Faits et chiffres sur le cacao - Kakaoplattform*; [cité le 12 mai 2021]. Disponible: <https://www.kakaoplattform.ch/fr/la-plate-forme-suisse-du-cacao-durable/a-propos-du-cacao/faits-et-chiffres-sur-le-cacao>
31. Higonnet E, Bellantonio M, Hurowitz G. *La destruction de parcs nationaux par l'industrie du chocolat* [En ligne]. Mighty Earth. 2017. Disponible: <https://www.mightyearth.org/2017/09/13/destructiondesparcsnationaux/>

32. Les chiffres clés du secteur [En ligne]. Syndicat du chocolat. Disponible: <https://www.syndicatduchocolat.fr/les-chiffres-cles-du-secteur/>
33. [En ligne]. Classen TB et O. Travail des enfants sur les plantations de cacao: deux décennies de perdues; 2020. Disponible: <https://www.publiceye.ch/fr/thematiques/negoce-agricole/travail-des-enfants-sur-les-plantations-de-cacao-deux-decennies-de-perdues>
34. Mistrati M, Romano R. The Dark Side of Chocolate. 2010.
35. Adabe KE, Ngo-Samnack EL. Production et transformation du Cacao. -AGRO. 2014;44.
36. Konan A, Yameogo I, Assiri A, Ahoungban V, Pokou Y. Manuel du planteur de Cacao. 2015.
37. Dzahini-Obiaty H, Domfeh O, Amoah FM. Over seventy years of a viral disease of cocoa in Ghana: From researchers' perspective. 2010;10.
38. [En ligne]. Kouakou K, Kebe B, Kouassi N, Anno A-P, Ake S. Impact de la maladie virale du swollen shoot du cacaoyer sur la production de cacao en milieu paysan à Bazré (Côte d'Ivoire); 2011. Disponible: <https://docplayer.fr/46131120-Impact-de-la-maladie-virale-du-swollen-shoot-du-cacaoyer-sur-la-production-de-cacao-en-milieu-paysan-a-bazre-cote-d-ivoire.html>
39. International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV) [En ligne]. Anonym. International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV). Disponible: <https://talk.ictvonline.org/>
40. Babin R. Contribution à l'amélioration de la lutte contre le miride du cacaoyer *Sahlbergella singularis* Hagl. (Hemiptera : Miridae). Influence des facteurs agro-écologiques sur la dynamique des populations du ravageur. MONTPELLIER III; 2009.
41. International Cocoa Organization [En ligne]. Anonym. Pests & Diseases; avr 2015 [cité le 1 avr 2019]. Disponible: <https://www.icco.org/about-cocoa/pest-a-diseases.html>
42. Curtet C. Influence de la variation du voisinage sur l'indice d'attaque des bioagresseurs du cacaoyer en systèmes agroforestiers : Cas de la moniliose et de la pourriture brune dans la zone de production d'Upala, au Costa Rica. 2015.
43. N'Guyen-Ban J. Lutte contre les maladies et ravageurs du cacaoyer - Publications des agents du Cirad. Plant Rech Dév. juin 1996;191-4.
44. MycoBank Database [En ligne]. Anonym. MycoBank. Disponible: <http://www.mycobank.org/defaultinfo.aspx?Page=Home>
45. Thevenin J-M; O, Trocme. La moniliose du cacaoyer - Publications des agents du Cirad. Plant Rech Dév. nov 1996;397-401.
46. Evans HC. Cacao Diseases—The Trilogy Revisited. *Phytopathology*. 14 nov 2007;97(12):1640-3.

47. Philipps-Mora W, Coutino A, Ortiz CF, Lopez AP, Hernandez J, Aime MC. First report of *Moniliophthora roreri* causing frosty pod rot (moniliasis disease) of cocoa in Mexico. *Plant Pathol* [En ligne]. 2006;55(4). Disponible: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20063151602>
48. [En ligne]. Philipps-Mora W, Aime MC. Biodiversity and biogeography of the cacao (*Theobroma cacao*) pathogen *Moniliophthora roreri* in tropical America; 2007. Disponible: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-3059.2007.01646.x>
49. MacMahon P, Purwantara A. Vascular Streak Dieback (*Ceratobasidium theobromae*): History and Biology. Dans: Bailey BA, Meonhardt LW, rédacteurs. *Cacao Diseases: A History of Old Enemies and New Encounters* [En ligne]. Cham : Springer International Publishing; 2016. p. 307-35. Disponible: https://doi.org/10.1007/978-3-319-24789-2_9
50. [En ligne]. Babin R. Des recommandations pour lutter contre les mirides du cacaoyer - CIRAD; 2010. Disponible: <https://www.cirad.fr/nos-recherches/resultats-de-recherche/2009/des-recommandations-pour-lutter-contre-les-mirides-du-cacaoyer>
51. [En ligne]. Flood J, Ritchie B, Vos J. Les foreurs de cabosses de cacao - *Conopomorpha cramerella*; nov 2003. Disponible: <https://docplayer.fr/15740036-Les-foreurs-de-cabosses-de-cacao-conopomorpha-cramerella.html>
52. 11. Conférence internationale sur la recherche cacaoyère. Actes [En ligne]. Caplong P, Paulin D, Alauzet C, Decazy B. Le foreur du tronc du cacaoyer, *Eulophonotus myrmeleon* Felder (Lepidoptera Cossidae), un ravageur potentiellement dangereux en cacaoculture; 1994. Disponible: <https://agritrop.cirad.fr/463986/>
53. cabi.org [En ligne]. Anonym. *Mesohomotoma tessmanni* (Psylle du cacaoyer). Disponible: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/33508#toidentity>
54. [En ligne]. N'Guessan P. La chenille *Achaea catocaloides* Guénéée (Lepidoptera ; Erebidae), une nouvelle menace pour la cacaoculture en Côte d'Ivoire; nov 2017. Disponible: <https://docplayer.fr/81630820-La-chenille-achaea-catocaloides-guenee-lepidoptera-erebidae-une-nouvelle-menace-pour-la-cacaoculture-en-cote-d-ivoire.html>
55. [En ligne]. Anonym. EU Pesticides database - European Commission. Disponible: <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=product.resultat&language=EN&selectedID=263>
56. Nielsen DS, Crafac M, Jespersen L, Jakobsen M. The Microbiology of Cocoa Fermentation. Dans: Watson RR, Preedy VR, Zibadi S, rédacteurs. *Chocolate in Health and Nutrition* [En ligne]. Totowa, NJ : Humana Press; 2013. p. 39-60. (Nutrition and Health). Disponible: https://doi.org/10.1007/978-1-61779-803-0_4
57. [En ligne]. Larousse É. Définitions : fermentation - Dictionnaire de français Larousse. Disponible: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/fermentation/33303>

58. Kadow D, Niemenak N, Rohn S, Lieberei R. Fermentation-like incubation of cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.) – Reconstruction and guidance of the fermentation process. Ferment- Incubation Cocoa Seeds *Theobroma Cacao* – Reconstr Guid Ferment Process [En ligne]. Disponible: <http://documentation.unicaen.fr/Default/doc/SCIENCEDIRECT/1-s2.0-S0023643815000316/fermentation-like-incubation-of-cocoa-seeds-theobroma-cacao-l-reconstruction-and-guidance-of-the-fer>
59. Voigt J. Chocolate and Cocoa Aroma. Dans: Watson RR, Preedy VR, Zibadi S, rédacteurs. *Chocolate in Health and Nutrition* [En ligne]. Totowa, NJ : Humana Press; 2013. p. 89-101. (Nutrition and Health). Disponible: https://doi.org/10.1007/978-1-61779-803-0_7
60. [En ligne]. Larousse É. Définitions: torréfaction - Dictionnaire de français Larousse. Disponible: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/torr%C3%A9faction/78537>
61. [En ligne]. Gomez G. *Abécédaire de Chimie organique*; 2019. Disponible: <https://tice.ac-montpellier.fr/ABCDORGA/ORGANIQUE.htm>
62. Directive 2000/36/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux produits de cacao et de chocolat destinés à l'alimentation humaine.
63. Bertazzo A, Comai S, Mangiarini F, Chen S. Composition of Cacao Beans. Dans: Watson RR, Preedy VR, Zibadi S, rédacteurs. *Chocolate in Health and Nutrition* [En ligne]. Totowa, NJ : Humana Press; 2013. p. 105-17. (Nutrition and Health). Disponible: https://doi.org/10.1007/978-1-61779-803-0_8
64. Bouvier B. Les intérêts nutritionnels et thérapeutiques du chocolat et ses éventuels effets toxiques [Thèse d'exercice]. Université de Caen; 1998.
65. [En ligne]. ANSES. Ciqual - Table de composition nutritionnelle des aliments. Disponible: <https://ciqual.anses.fr/>
66. [En ligne]. Anonym. Les minéraux | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Disponible: <https://www.anses.fr/fr/content/les-min%C3%A9raux>
67. ANSES. Actualisation des repères du PNNS: révision des repères de consommations alimentaires. déc 2016.
68. [En ligne]. Larousse É. Définitions: vitamine - Dictionnaire de français Larousse. Disponible: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/vitamine/82243>
69. Ferrary O, Hercend C, Pech K, Dauvergne A. La vitamine B1: la première vitamine identifiée. *Rev Francoph Lab.* 1 juill 2019;2019:45-54.
70. Futura sciences [En ligne]. Deluzarches C. Vitamine B2. Disponible: <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/vitamines-vitamine-b2-6120/>
71. Olive NO, Casado M-JM. Polyphenols in Cocoa: From In Vitro Digestion to In Vivo Bioavailability. Dans: Watson RR, Preedy VR, Zibadi S, rédacteurs. *Chocolate in Health and Nutrition* [En ligne]. Totowa, NJ : Humana Press; 2013. p. 179-88.

- (Nutrition and Health). Disponible: https://doi.org/10.1007/978-1-61779-803-0_15
72. Fontaine E. Radicaux libres. Dans: Cano N, Barnoud D, Schneider SM, Vasson M-P, Hasselman M, Lenerve X, rédacteurs. *Traité de nutrition artificielle de l'adulte* [En ligne]. Paris : Springer; 2007. p. 251-7. Disponible: https://doi.org/10.1007/978-2-287-33475-7_19
 73. Afonso V, Champy R, Mitrovic D, Collin P, Lomri A. Radicaux libres dérivés de l'oxygène et superoxydes dismutases: rôle dans les maladies rhumatismales. *Rev Rhum.* 1 juill 2007;74(7):636-43.
 74. Castell M, Perez-Cano FJ, Bisson J-F. Clinical Benefits of Cocoa: An Overview. Dans: Watson RR, Preedy VR, Zibadi S, rédacteurs. *Chocolate in Health and Nutrition* [En ligne]. Totowa, NJ : Humana Press; 2013. p. 265-75. (Nutrition and Health). Disponible: https://doi.org/10.1007/978-1-61779-803-0_19
 75. Auger C, Idris-Khodja N, Schni-Kerth VB. Endothelial Control of Vascular Tone by Chocolate and Other Polyphenols. Dans: Watson RR, Preedy VR, Zibadi S, rédacteurs. *Chocolate in Health and Nutrition* [En ligne]. Totowa, NJ : Humana Press; 2013 [cité le 18 mars 2019]. p. 277-87. (Nutrition and Health). Disponible: https://doi.org/10.1007/978-1-61779-803-0_20
 76. Mika D, Leroy J, Fishmeister R, Vandecasteele G. Rôle des phosphodiesterases des nucléotides cycliques de types 3 et 4 dans le couplage excitation-contraction et les arythmies cardiaques. *médecine/sciences. Editions EDK, Groupe EDP Sciences*; 1 juin 2013;29(6-7):617-22.
 77. Huang Z-L, Qu W-M, Eguchi N, CHEN J-F, Schwarzschild MA, Fredholm BB, et al. Adenosine A_{2A}, but not A₁, receptors mediate the arousal effect of caffeine. *Nat Neurosci. Nature Publishing Group*; juill 2005;8(7):858-9.
 78. Sollevi A. Cardiovascular effects of adenosine in man; possible clinical implications. *Prog Neurobiol.* 1 janv 1986;27(4):319-49.
 79. Martinez-Pinalla E, Onatibia-Astibia A, Franco R. The relevance of theobromine for the beneficial effects of cocoa consumption. *Front Pharmacol* [En ligne]. *Frontiers*; 2015;6. Disponible: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphar.2015.00030/full>
 80. Usmani OS, Belvisi MG, Patel HJ, Crispino N, Birrell MA, Korbonits M, et al. Theobromine inhibits sensory nerve activation and cough. *FASEB J.* 17 nov 2004;19(2):231-3.
 81. WHO [En ligne]. OMS. OMS | Cadmium. Disponible: http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/cadmium/fr/
 82. Copetti MV, Lamanaka BT, Taniwaki MH. Fungi and Mycotoxin Occurrence in Cocoa. Dans: Watson RR, Preedy VR, Zibadi S, rédacteurs. *Chocolate in Health and Nutrition* [En ligne]. Totowa, NJ : Humana Press; 2013. p. 61-71. (Nutrition and Health). Disponible: https://doi.org/10.1007/978-1-61779-803-0_5

83. Teneurs maximales pour certains contaminants -Règlement (CE) n° 466/2001 de la Commission, du 8 mars 2001, portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires [En ligne]. Disponible: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:l21115k&from=SL>



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE

U.F.R. Santé

Faculté des Sciences Pharmaceutiques

VU, LE PRESIDENT DU JURY

CAEN, LE

VU, LE DIRECTEUR DE LA FACULTE
DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES

CAEN, LE

L'université n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses et mémoires. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

TITRE

ETUDE ETHNOBOTANIQUE DU CACAO

Résumé

Cette thèse présente une étude ethnobotanique du cacao. Elle a pour but de mettre en avant les liens entre l'homme et le cacaoyer *Theobroma cacao*. Cela commence par une description botanique complète de cet arbre : la description morphologique de la racine et jusqu'aux graines, la description de son biotope, la chronologie de son développement et les connaissances actuelles sur son génome. Elle aborde ensuite le rapport entre l'humain et le cacaoyer, de leur histoire commune, notamment au sein du monde pharmaceutique, des moyens utilisés pour le cultiver, des maladies auxquelles il est exposé et des questions éthiques qu'il pose. Puis elle expose les modifications apportées par l'homme pour transformer les graines de cacao, aussi appelées fèves, en différents produits de consommation. Seront détaillées les étapes les plus importantes qui sont la fermentation, le séchage, la torréfaction et la séparation de la poudre et du beurre de cacao. Pour finir, elle présente les effets du cacao et du chocolat sur l'organisme humain en détaillant la composition en macronutriments, en micronutriments et en substances actives.

TITLE

ETHNOBOTANICAL STUDY OF COCOA

Summary

This thesis presents an ethnobotanical study of cocoa. Its purpose is to highlight the links between man and the cocoa tree *Theobroma cacao*. The study begins with a complete botanical description of this tree: A morphological description of the root going down to the seeds, the description of its habitat, the chronology of its development and the current knowledge of its genome. The thesis then delves into the relationship between humans and the cocoa tree, their common history, especially within the pharmaceutical world, the means used to cultivate it, the diseases it is exposed to and the ethical questions it poses. Further on this thesis explains the modifications done by humans to transform cocoa seeds, also known as beans, into various consumer products. The most important stages, which are fermentation, drying, roasting and separation of the powder and the cocoa butter, will be detailed. Finally, this research presents the effects of cocoa and chocolate on the human body by demonstrating the composition of macronutrients, micronutrients and active substances.

Mots-clés

Cacaoyer ; Botanique ; Histoire ; Transformation ; Pharmacologie
